

Trabajo Fin de Grado

Análisis de la viabilidad técnica de la
implementación de cubiertas verdes en Zaragoza
frente a las técnicas de drenaje convencionales

Implementation technical feasibility analysis of
green roofs in Zaragoza as opposed to conventional
drainage techniques.

Autor

Alba María Álvarez Cano

Director

Beniamino Russo

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2019



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

Análisis de la viabilidad técnica de la
implementación de cubiertas verdes en
Zaragoza frente a las técnicas de drenaje
convencionales

Implementation technical feasibility analysis
of green roofs in Zaragoza as opposed to
conventional drainage techniques.

423.19.69

Autor: Alba María Álvarez Cano

Director: Beniamino Russo

Fecha: 18/09/2019

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	1
1.1. PALABRAS CLAVE	1
2. ABSTRACT	2
3. INTRODUCCIÓN	3
4. DESARROLLO	6
4.1. EL CICLO HIDROLÓGICO Y SU EQUILIBRIO.	6
4.2. EL CLIMA EN ZARAGOZA	8
4.3. SUDS	10
4.3.1. <i>Objetivos</i>	12
4.4. CLASIFICACIÓN	12
4.5. CUBIERTAS VERDES	13
4.5.1. <i>Antecedentes</i>	14
4.5.2. <i>Tipos</i>	16
4.5.3. <i>Beneficios</i>	23
4.5.4. <i>Estructura</i>	26
4.5.5. <i>Vegetación</i>	30
4.5.5.1. Sedum	31
4.5.5.2. Plantas aromáticas	32
4.5.5.3. Gramíneas	33
4.5.5.4. Especies arbustivas	35
4.5.5.5. Especies arbóreas	36
4.6. ESTUDIO ESTRUCTURAL	39
4.6.1. <i>Edificios escogidos</i>	39
4.6.1.1. Cultura	39
4.6.1.2. Salud	41
4.6.1.3. Educación	42
4.6.1.4. Resumen	43
4.6.2. <i>Normativa</i>	43
4.6.2.1. Norma M. V. 101-1962	43
4.6.2.2. Ley 38/1999	45

INDICES

4.6.2.3.	Real Decreto 314/2006	45
4.6.3.	<i>Modelización estructural</i>	47
4.6.3.1.	Luz de viga 5.5 m	48
4.6.3.2.	Luz de viga de 7.5m	51
4.7.	ESTUDIO HIDROLÓGICO	54
4.7.1.	<i>Modelización hidrológica</i>	54
4.7.1.1.	Sobre SWMM	55
4.7.2.	<i>Definición de la pluviometría</i>	56
4.7.2.1.	Serie continua anual	56
4.7.2.2.	Lluvia de diseño	57
4.7.3.	<i>Descripción de los parámetros del modelo</i>	58
4.7.3.1.	Superficie	58
4.7.3.2.	Propiedades de sustrato	59
4.7.3.3.	Capa drenante	59
4.7.4.	<i>Valores escogidos</i>	60
4.7.5.	<i>Parámetros del uso de la cubierta</i>	64
4.8.	ESTADO DE LA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN DE TEJADOS VERDES EN EDIFICIOS MUNICIPALES.	66
4.8.1.	<i>Pasos a seguir</i>	66
4.9.	RESULTADOS DEL PROYECTO	67
4.9.1.	<i>Lluvia continua de 2013</i>	67
4.9.1.1.	Edificio Juzgados	68
4.9.1.2.	Cubiertas de muestra y extrapolación al resto de Zaragoza	68
4.9.2.	<i>Lluvia de diseño de periodo de retorno de 10 años.</i>	74
4.9.2.1.	Edificio Juzgados	75
4.9.2.2.	Cubiertas de Zaragoza	78
4.10.	CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS	83
4.10.1.	<i>Especificaciones sobre las acciones que afectan a la estructura.</i>	83
4.10.1.1.	Viento	83
4.10.1.2.	Cargas	84
4.10.1.3.	Pendiente de la cubierta	84
4.10.1.4.	Requisitos de construcción de las cubiertas	84
4.10.1.5.	Elementos emergentes	85
4.10.1.6.	Elementos pasantes	86
4.10.1.7.	Dispositivos de desagüe	86
4.10.1.8.	Franjas de gravas de protección	87
4.10.1.9.	Caminos de circulación	87
4.10.1.10.	Instalación de riego	87
4.10.1.11.	Estabilización de árboles y arbustos	87

INDICES

4.10.1.12.	Protección contra el deslizamiento y la erosión	87
4.10.1.13.	Requisitos de construcción de las áreas de vegetación	88
4.10.1.14.	Capa de protección de la impermeabilización:	88
4.10.1.15.	Capa drenante:	88
4.10.1.16.	Capa filtrante:	88
4.10.1.17.	Capa de sustrato:	89
4.10.1.18.	Operaciones de mantenimiento	89
4.11.	ANÁLISIS ECONÓMICO	90
5.	CONCLUSIONES	95
6.	BIBLIOGRAFÍA	97

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.	Pérdidas previstas por riesgos naturales para el periodo 1986-2016. [Fuente: IGN. Ministerio de Fomento]	4
Figura 2.	El ciclo del agua [Fuente: Prieto Leache, 2009]	6
Figura 3.	Ciclo urbano del agua [Fuente: Urban water cycle processes and interactions. Unesco publishing, 2008]	7
Figura 4.	Mapa térmico promedio de Zaragoza. [Fuente: Cuadrat Prats, José M; 2005]	10
Figura 5.	Evolución de los parámetros de lluvia por el desarrollo urbanístico. [Fuente: Soriano Martínez, 2015]	11
Figura 6.	Comparación Situación natural VS Cubierta verde. Fuente: ZinCo	14
Figura 7.	Sistema sedum tapizante. Fuente: ZinCo	17
Figura 8.	Sistema tapizante floral. Fuente: ZinCo	17
Figura 10.	Sistema Con riego integrado. Fuente: ZinCo	18
Figura 9.	Sistema tapizante florar en cubierta invertida. Fuente: ZinCo	18
Figura 11.	Sistema Cubierta inclinada hasta 20°. Fuente: ZinCo	19
Figura 12.	Sistema Cubierta inclinada hasta 35°. Fuente: ZinCo	19

INDICES

Figura 13. Sistema Cubierta Jardín. Fuente: ZinCo.....	21
Figura 14. Sistema Huerto urbano. Fuente: ZinCo.....	21
Figura 15. Sistema plantas aromáticas. Fuente: ZinCo	22
Figura 16. Capas de una cubierta verde. [Fuente: Guía de Cubiertas verdes del Ayuntamiento de Barcelona, 2017]	26
Figura 17. Espesor del sustrato en función de la vegetación plantada. Fuente: ZinCo.....	28
Figura 18. Sedum album [www.carex.cat, 2016]	31
Figura 19. Sedum sediforme [www.carex.cat, 2016]	31
Figura 20. Sedum acre [www.carex.cat, 2016]	32
Figura 21. Thynus vulgaris. [www.carex.cat, 2016].....	32
Figura 22. Lavandula latifolia. [www.manomano.es, 2015]	33
Figura 23. Rosmarinus officinalis. [www.carex.cat, 2016]	33
Figura 24. . Cynodon dactylon. [Fuente: www.theplantlist.org, 2010]	34
Figura 25. Festuca Arundinácea. [www.zulueta.com, 2017]	34
Figura 26. Stiva Parviflora [Fuente: http://herbarivirtual.uib.es/, 2018]	34
Figura 27. Abelia x grandiflora [Fuente: https://plantasparacercoyjardin.com, 2017]	35
Figura 28. Nerium oleander. [Fuente: fichas.infojardin.com, 2017]	35
Figura 29. Cornus alba [Fuente: www.gardens4you.com, 2018]	36
Figura 30. Hibiscus syriacus. [Fuente: fichas.infojardin.com, 2017]	36
Figura 31. Albizia julibrissim [Fuente: www.agromatica.es, 2019].....	37
Figura 32. Cercis siliquastrum [Fuente: www.arbolesibericos.com, 2013]	37
Figura 33. Elaeagnus angustifolia [Fuente: www.arbolesibericos.com, 2013]....	38
Figura 34. Pinus mugo [Fuente: fichas.infojardin.com, 2017]	38
Figura 35. Edificio Juzgados Zaragoza [http://www.expozaragozaempresarial.com, 2019]	39
Figura 36. Centro Cívico Delicias [Fuente: www.aragonmusical.com, 2018]	40

Figura 37. Facultad de ciencias. [Fuente: ciencias.unizar.es, 2019]	40
Figura 38. Centro médico de especialidades Ramón y Cajal [Fuente: http://sectorzaragozados.salud.aragon.es , 2019]	41
Figura 39. Centro de Salud Fernando el Católico [Fuente: http://sectorzaragozados.salud.aragon.es , 2019]	41
Figura 40. Centro de Salud Parque Goya 2 [Fuente: avparquegoya.es , 2019]...	42
Figura 41. IES Pablo Gargallo [Fuente: Página oficial IES Pablo Gargallo, 2018]	42
Figura 42. Diagrama de cortantes en la viga de 5.5m y cubierta convencional mediante el software CYPE3D.....	48
Figura 43. Diagrama de flectores en la viga de 5.5m y cubierta convencional mediante el software CYPE3D.....	49
Figura 44. Diagrama de cortantes en la viga de 5.5m de luz y cubierta extensiva	49
Figura 45. Diagrama de flectores en la viga de 5.5m de luz y cubierta extensiva.	49
Figura 46. Diagrama de cortantes en una viga de 5.5m de luz con cubierta semi intensiva de parterres de 3.75x3.75m	50
Figura 47. Diagrama de flectores en una viga de 5.5m de luz con cubierta semi-intensiva de parterres de 3.75x3.75.....	50
Figura 48. . Diagrama de cortantes en una viga de 5.5m de luz con cubierta intensiva de parterres de 2.3x2.3m	50
Figura 49. Diagrama de flectores en una viga de 5.5m de luz con cubierta intensiva de parterres de 2.3x2.3m	50
Figura 50. Diagrama de cortantes en la viga de 7.5m y cubierta convencional mediante el software CYPE3D.....	52
Figura 51. Diagrama de flectores en la viga de 7.5m y cubierta convencional mediante el software CYPE3D.....	52
Figura 52. Diagrama de cortantes y flectores en la viga de 7.5m y cubierta extensiva al 100%	52

INDICES

Figura 53. Diagrama de cortantes y flectores en la viga de 7.5m y cubierta semi-intensiva con parterres de 4.5x4.5m	53
Figura 54. Diagrama de cortantes y flectores en la viga de 7.5m y cubierta intensiva con parterres de 3x3m	53
Figura 55. Ajuste de los parámetros de la subcuenca tras integrar en el modelo los SUDS.	55
Figura 56. Serie continua de lluvia correspondiente a 2013, datos diezminutales [Fuente: Jiménez Camacho et al, 2015]	57
Figura 57. Editor de SUDS en SWMM.....	58
Figura 58. Floradrain FD 25-E. Capa de drenaje para cubiertas extensivas. (Fuente: www.zinco.es, 2014)	62
Figura 59. Floradrain FD 40-E. Capa de drenaje para cubiertas extensivas. (Fuente: www.zinco.es, 2014)	63
Figura 60. Floradrain FD 60. Capa de drenaje para cubiertas extensivas. (Fuente: www.zinco.es, 2014)	63
Figura 61. Editor de uso de la cubierta	64
Figura 62. Comparación cubiertas verdes al 20% ocupación (T10)	75
Figura 63. Comparación de cubiertas verdes al 40% de ocupación (T10)	76
Figura 64. Comparación de cubiertas verdes al 80% de ocupación (T10)	77
Figura 65. Comparación de cubiertas verdes al 100% de ocupación (T10)	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores climatológicos relevantes [Fuente: Instituto de Estadística de Aragón, 2015].....	9
Tabla 2. Ejemplos y clasificación de los SUDS [Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación de CIRIA]	13

Tabla 3. Clasificación de SUDS. [Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación de CIRIA].....	13
Tabla 5. Especies vegetales según el tipo de cubierta basado en la Tabla 4 [Elaboración propia].....	29
Tabla 4. Especies vegetativas recomendables según espesor del sustrato. [Fuente: Manual de SWMM]	29
Tabla 6. Criterios para seleccionar la vegetación de una cubierta verde [Elaboración propia en base a Jiménez Camacho et al., 2015].....	30
Tabla 7. Resumen de edificios de muestra.	43
Tabla 8. Valor de las sobrecargas de uso en la Norma MV 101-1963 [Elaboración propia a partir de la norma MV 101-1962]	44
Tabla 9. Categorías de uso y cargas en cubierta.	46
Tabla 10. Parámetros que definen el estudio estructural	47
Tabla 11. Tabla de pesos en función del tipo de cubierta verde.....	48
Tabla 12. Pesos escogidos para el modelo.....	48
Tabla 13. Resumen valores de los diagramas de cortantes para viga L=5.5m ...	51
Tabla 14. Resumen de los diagramas de momentos flectores para viga L=5.5m	51
Tabla 15. Resultados de ocupación porcentual en una viga de 5.5m de luz.....	51
Tabla 16. Resumen de valores de diagrama de cortantes para viga $L_{vano}=7.5m$ 53	
Tabla 17. Resumen de valores de diagrama de momentos flectores para viga $L_{vano}=7.5m$	54
Tabla 18. Resultados de ocupación porcentual de una viga de 7.5m de luz.....	54
Tabla 19. Datos del pluviómetro	56
Tabla 20. Valores de los parámetros del modelo. Elaboración propia.	60
Tabla 21. Propiedades físicas del suelo según texturas. (Fuente: Schwab, 1996)	61
Tabla 22. Parámetros de Green Ampt para distintas texturas. (Fuente: <i>adapt. de Rawls and Brakensick, 1983</i>)	61

INDICES

Tabla 23. Comparación de parámetros en los distintos tipos de cubierta verde.	68
Tabla 24. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado convencional sin SUDS	69
Tabla 25. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado extensivo al 100%, centrado en el conjunto.	69
Tabla 26. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado extensivo al 100%, centrado en la cubierta verde.	70
Tabla 27. Disminución del volumen de escorrentía de la cubierta extensiva al 100% respecto a la cubierta convencional.	70
Tabla 28. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado semi-intensivo al 40%	71
Tabla 29. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado semi-intensivo al 40%, centrado en el tejado verde	71
Tabla 30. Disminución del volumen de escorrentía de la cubierta semi-intensiva al 40% respecto a la cubierta convencional.....	72
Tabla 31. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado intensivo al 15%.....	72
Tabla 32. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado intensivo al 15%, centrado en el tejado verde	73
Tabla 33. Disminución del volumen de escorrentía de la cubierta intensiva al 15% respecto a la cubierta convencional	73
Tabla 34. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado convencional.	78
Tabla 35. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado extensivo al 100%	79
Tabla 36. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado extensivo al 100%, centrado en el tejado verde	79
Tabla 37. Disminución del volumen de escorrentía y del caudal pico de la cubierta extensiva al 100% respecto a la cubierta convencional	80

Tabla 38. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado semi-intensivo al 40%	80
Tabla 39. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado semi-intensivo al 40%, centrado en el tejado verde.	81
Tabla 40. Disminución del volumen de escorrentía y del caudal pico de la cubierta semi-intensiva al 40% respecto a la cubierta convencional	81
Tabla 41. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado intensivo al 15%.....	82
Tabla 42. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado intensivo al 15%, centrado en el tejado verde.	82
Tabla 43. Disminución del volumen de escorrentía y del caudal pico de la cubierta intensiva al 15% respecto a la cubierta convencional	83
Tabla 44. Precios unitarios de las distintas tipologías de cubiertas verdes [Fuente: ZinCo, 2019].....	90
Tabla 45. Coste de implementación de las distintas cubiertas verdes en los edificios de muestra	91
Tabla 46. Resultado de la implementación hipotética en los edificios de titularidad pública en la ciudad de Zaragoza a 2019.	92
Tabla 47. coste unitario del agua de suministro y del tratamiento de aguas residuales en Aragón en el año 2013. En €/m ³ [Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (IAEST), 2016.].....	92
Tabla 48. Almacenamiento inicial en función de la tipología de cubierta verde. .	92
Tabla 49. Absorción de lluvia en función de la tipología de cubierta verde [mm].	93
Tabla 50. Ahorro en euros de la implementación de las distintas tipologías de cubiertas verdes para una lluvia de diseño T10, un área media de cubierta de 1066.5m ² y un precio unitario de depuración de 0.76€/m ³	94

1. RESUMEN

Las zonas urbanizadas son cada vez mas grandes; esto significa que cada vez se ha ido impermeabilizando mas el suelo hasta que prácticamente toda la lluvia que cae se convierte en escorrentía.

Este trabajo va orientado a la posible implementación de cubiertas verdes en la ciudad de Zaragoza (España).

El desarrollo urbano es característico por aumentar el grado de impermeabilidad en el suelo. Esto hace que tras episodios intensos de lluvia se sufran inundaciones o desbordamiento de los colectores. Mediante un análisis de tres vías, estructural, hidrológico y económico, se pretende proporcionar una visión más clara de las posibilidades que tienen los edificios de la ciudad para implementar esta tecnología; hallar la escorrentía inicial en una cubierta convencional y su comparación con los diferentes tipos de cubiertas verdes analizadas.

Se usa los softwares de SWMM y CYPE para hacer los análisis y sus resultados se presentarán en forma de diagrama, tabla o gráfica.

Se selecciona una muestra de edificios de titularidad municipal para luego extrapolarlos a la urbe entera. Los criterios de selección han sido: año de construcción y finalidad del edificio.

En este sentido se analiza la posible capacidad estructural mediante un modelo de barras. Gracias a esto, hay unos porcentajes de ocupación de cubierta máxmos que se analizan en el modelo hidrológico.

En el modelo hidrológico, y mediante el software SWMM, se obtienen las respuestas a una lluvia continua y una lluvia artificial.

Por último, se elabora un análisis económico que da una idea de la magnitud de la inversión necesaria según el grado de implementación y la tipología de cubierta que se busque, así como los beneficios expresados como el ahorro de agua que tratan las EDAR en Zaragoza.

1.1. PALABRAS CLAVE

LID, Cubiertas verdes, SWMM, Modelización, Capacidad estructural.

2. ABSTRACT

The urbanized areas are increasing progressively; the subcatchments are increasingly waterproof, until almost all rain turns into runoff.

This essay is oriented to the possibility of green roof implementation in the city of Zaragoza (España).

The urban development is notorious and characteristically waterproof. This means that after a strong episode of rain there will be flooding. Through a three way analysis, this essay will try to provide a clearer vision about the technical possibilities the buildings in the city have, getting the results from comparing the conventional and green roofs runoffs.

The software used are SWMM and CYPE; they will provide analysis and results in different forms: diagram, graphs...

It's selected a few buildings which are propriety of the State, they will be the base to the whole urban area. The selection criteria had been construction year and building activity.

In that way, the possible structural capacity of the building is analyzed by a simplified model. Thanks to that, the maximum occupation percentages can be used in the hydrologic model.

In this model, using SWMM, the hydrological responses are obtained.

Lastly, there will be an economical analysis about the possible investment quantification and profit quantification expressed as water saving into water treatment plants.

3. INTRODUCCIÓN

El mundo se está enfrentando a uno de los mayores retos de su historia. El cambio climático es ya una realidad y sus efectos son más que palpables en el clima del globo.

El cambio climático se define como una alteración radical y brusca de los equilibrios medioambientales entre el hombre y la naturaleza [IPCC, 2015]:

Algunos efectos del cambio climático por orden de importancia socio-económica, territorial y frecuencia de aparición en España son:

1. Lluvias abundantes o torrenciales con efectos de inundación
2. Secuencias de sequía
3. Temporales de viento
4. Olas de frío y calor
5. Tormentas de granizo
6. Aludes
7. Sismicidad
8. Deslizamientos

Al aumentar la temperatura en el mar y tener vientos más húmedos el riesgo por inundación aumenta. Los fenómenos como el aumento de los veranos calurosos y las lluvias torrenciales se ven agravados por los cambios de usos del suelo y la ocupación del territorio.

España es un país muy sensible a las consecuencias del cambio climático debido a que es una de las causas principales de las pérdidas de vidas humanas y de daños económicos que se registran anualmente es debido a los episodios arriba mencionados.

Introducción

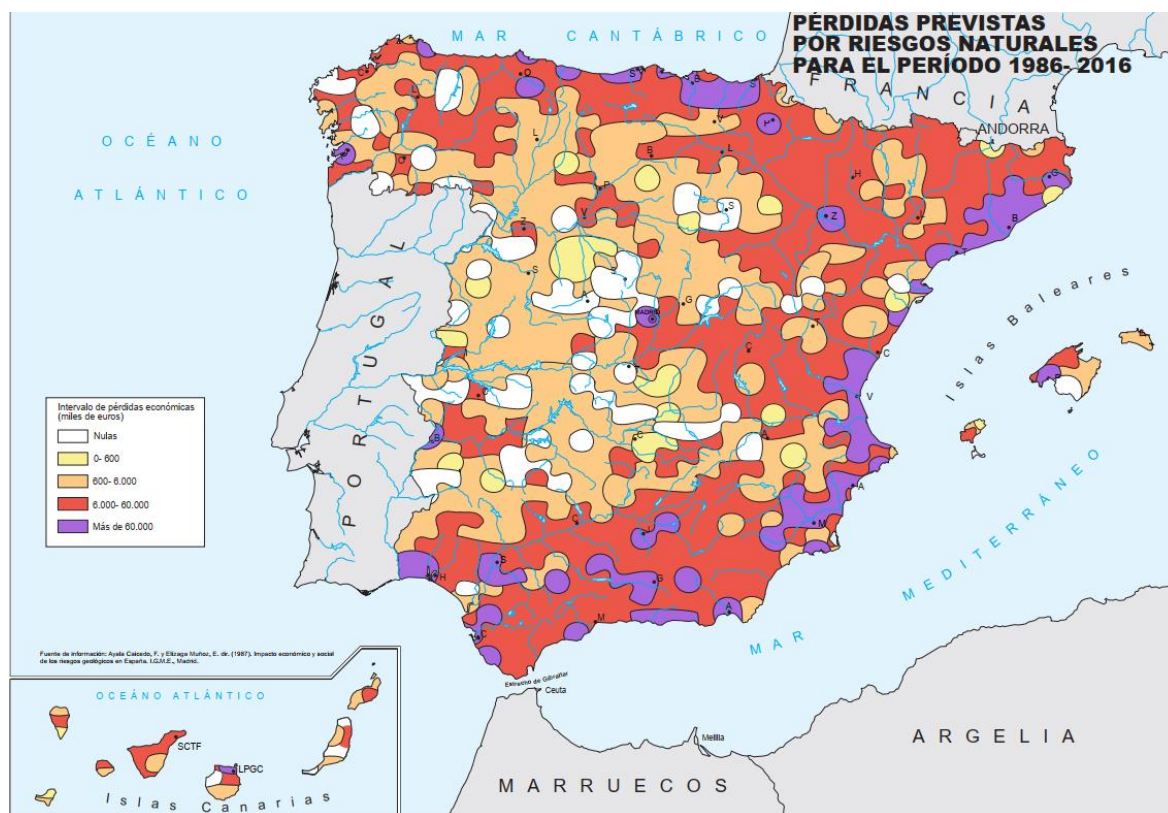


Figura 1. Pérdidas previstas por riesgos naturales para el periodo 1986-2016. [Fuente: IGN. Ministerio de Fomento]

Hablando en términos del país en general, se están viendo efectos muy extremos que dificultan la toma de decisiones específicas y la aplicación de soluciones: se viven episodios de calor extremo e inundaciones en el mismo año.

Los modelos de cambio climático que se manejan en la actualidad prevén para España un agravamiento de las condiciones de irregularidad térmica y pluviométrica para las próximas décadas.

Todas estas consideraciones añaden retos que hay que superar de cara a los próximos años. Por suerte, la sociedad está cada vez más concienciada de que hay que actuar y salvaguardar el futuro ambiental [Olcina Ramos, 2010].

A todo esto, se une que a medida que crece la población, las ciudades van aumentando en tamaño; cuanto más aumentan en tamaño, mayor es el porcentaje de suelo impermeabilizado.

Esta impermeabilización del suelo impide que parte del agua de lluvia se infiltre en lugar de discurrir; lo que genera un riesgo de inundación mayor.

Este problema es sobre todo de índole urbana.

Los sistemas de saneamiento actuales no puedan hacer frente a la clase de eventos de lluvia que se están produciendo. La red no tiene capacidad para transportar tanto caudal en tampoco tiempo, los colectores se ven desbordados con frecuencia y las estaciones depuradoras tampoco son capaces de tratarlos caudales que con excesiva frecuencia llegan debido a fenómenos de lluvia intensos y moderados. La renovación de los elementos de drenaje tradicionales (colectores, pozos, depósitos, etc.) es muy costosa y poco sostenible desde un punto de vista socio-económico y también ambiental, así que es, cada día más, se plantean soluciones tecnológicas más sostenibles de las anteriormente citadas.

Una de las medidas de cara a disminuir los efectos de las inundaciones en medio urbano son los sistemas de drenaje sostenible (de aquí en adelante SUDS: Sistemas de Urbanos de Drenaje Sostenible). También conocidos con sus siglas en inglés: BMP (Best Management Practice) o LID (Low Impact Development), estos sistemas recogen los caudales de escorrentía pluvial, los transportan y almacenan durante el máximo de tiempo posible para disminuir su velocidad, después la infiltran y reutilizan, y esto tiene un impacto positivo en el ciclo hidrológico del agua en la ciudad [Rodríguez-Rojas et al., 2017]

4. DESARROLLO

4.1. EL CICLO HIDROLÓGICO Y SU EQUILIBRIO.

El ciclo hidrológico es estudiado desde el inicio del periodo escolar. Se compone de distintas fases, de la siguiente manera:



Figura 2. El ciclo del agua [Fuente: Prieto Leache, 2009]

Este es el ciclo ideal que sigue el agua en las áreas rurales o no urbanizadas. Sin embargo, en las ciudades el ciclo hidrológico ha sufrido variaciones. El agua al condensar y precipitar arrastra la polución que encuentra a su paso por el aire. Al caer, se desliza por una superficie impermeable (o prácticamente) arrastrando, además, toda la suciedad que se encuentra en el pavimento. El agua, introducida en la red por un sistema de captación formado por un conjunto de imbornales circula por un sistema de tuberías hasta una depuradora, allí se elimina la suciedad mediante procesos químicos y bacteriológicos lo suficiente como para poder verterla al río o al mar. En todo este proceso, se ha evitado la infiltración necesaria para recargar acuíferos entre otras ventajas.

Así que, en lugar de un ciclo hidrológico típico de cuencas rurales, en las ciudades nos encontramos un ciclo que puede ser esquematizado como en la siguiente ilustración.

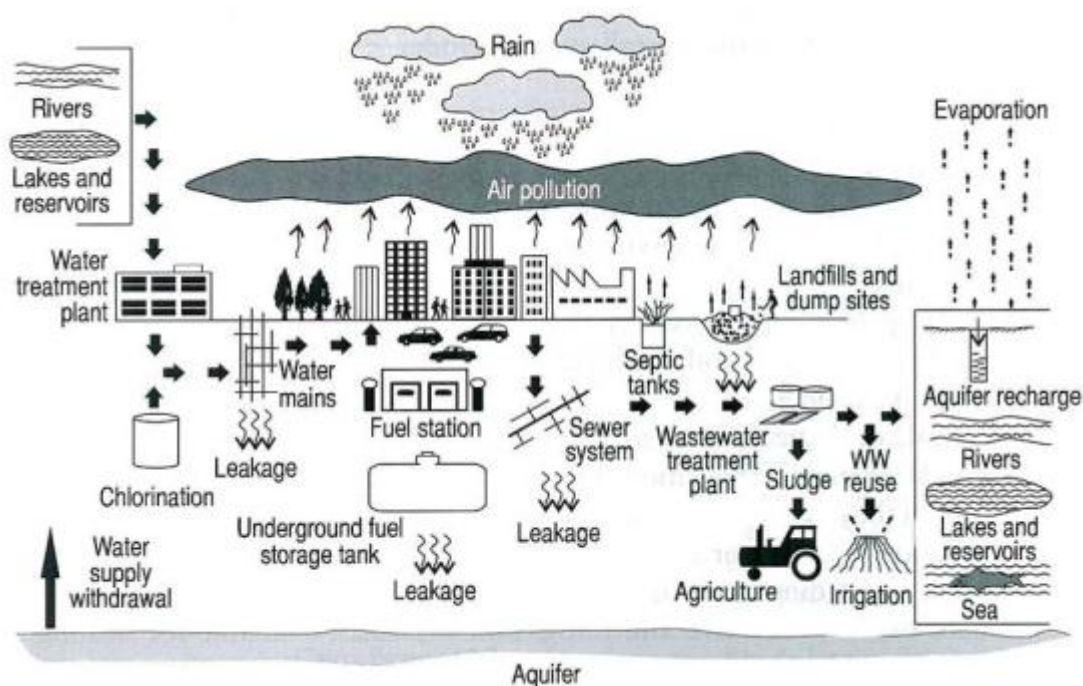


Figura 3. Ciclo urbano del agua [Fuente: Urban water cycle processes and interactions. Unesco publishing, 2008]

En este trabajo va a tratar de la viabilidad de instalar cubiertas verdes en Zaragoza y tendrá la siguiente estructura:

En primer lugar, se analizará la tipología de SUDS, en concreto de las cubiertas verdes. Se describirán los parámetros necesarios para definirlos y las posibles variaciones según la tipología.

Tras esto se hará una lista de los edificios potencialmente implementables y se hará un estudio estructural.

Entonces, en el estudio hidrológico se modelizará mediante el software de SWMM y se mostrarán los resultados en varios edificios escogidos de la lista mencionada antes. Las hipótesis serán de distintos grados de ocupación según las posibilidades de implementación teóricas.

Por último, se realizará un pequeño análisis económico según las ocupaciones definidas en el análisis hidrológico.

4.2. EL CLIMA EN ZARAGOZA

El clima en Zaragoza es mediterráneo con influencia continental: precipitaciones escasas y temperaturas moderadas. Esta influencia continental mencionada se hace patente en la diferencia de temperaturas entre el invierno y el verano (pasando de una media de 6.6°C en enero a una de 24.9°C en julio). Dentro de estas estaciones, no es inusual que haya días de helada próximos a los 0°C o de calor agobiante alcanzando los 35°C e incluso los 40°C. [Cuadrat et al., 2014]

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	6,6	10,5	2,7	21	75	4	1	0	7	8	5	131
Febrero	8,2	13,1	3,3	22	67	4	0	0	3	5	5	165
Marzo	11,6	17,3	5,8	19	59	4	0	0	0	1	7	217
Abril	13,8	19,6	7,9	39	57	6	0	1	0	0	5	226
Mayo	18,0	24,1	11,8	44	54	6	0	4	0	0	5	274
Junio	22,6	29,3	15,8	26	49	4	0	4	0	0	8	307
Julio	25,3	32,4	18,3	17	47	3	0	4	0	0	15	348
Agosto	25,0	31,7	18,3	17	51	2	0	4	0	0	11	315
Septiembre	21,2	27,1	15,2	30	57	3	0	3	0	0	8	243
Octubre	16,2	21,4	11,0	36	67	5	0	1	1	0	5	195
Noviembre	10,6	14,8	6,3	30	73	5	0	0	4	2	4	148
Diciembre	7,0	10,8	3,2	21	76	5	1	0	7	7	4	124
Año	15,5	21,0	10,0	322	61	51	2	21	23	23	82	2693

T	Temperatura media mensual/anual (°C)
TM	Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
Tm	Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
R	Precipitación mensual media (mm)
H	Humedad relativa media (%)
DR	Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
DN	Número medio mensual/anual de días de nieve
DT	Número medio mensual/anual de días de tormenta
DF	Número medio mensual/anual de días de niebla

DH	Número medio mensual/anual de días de helada
DD	Número medio mensual/anual de días despejados
I	Número medio mensual/anual de horas de sol

Tabla 1. Valores climatológicos relevantes [Fuente: Instituto de Estadística de Aragón, 2015]

Estos son los datos medios del periodo 1981-2010 para distintos valores climáticos relevantes, observados en la estación meteorológica de Zaragoza (Aeropuerto; Altitud (m): 263 - Latitud: 41º 39' 38" N - Longitud: 01º 00' 15" O).

El viento es una variable muy significativa en el clima de Zaragoza. Puede alcanzar intensidades de hasta 100km/h y tiene dos componentes claramente diferenciadas: el cierzo (noroeste) y el bochorno (sureste). Estas dos componentes actúan sobre la sensación térmica de la población, de tal manera que en invierno el cierzo hace que se perciba una temperatura inferior a la que realmente se tiene. En verano, el bochorno hace descender la humedad y eso genera una sensación térmica mayor.

Además, Zaragoza es una ciudad con poca superficie verde respecto de superficie edificada; esto genera el efecto isla de calor urbana. Este efecto genera unas temperaturas más altas en la ciudad que en el entorno urbano inmediato por la absorción y liberación del calor en áreas asfaltadas.

Desarrollo

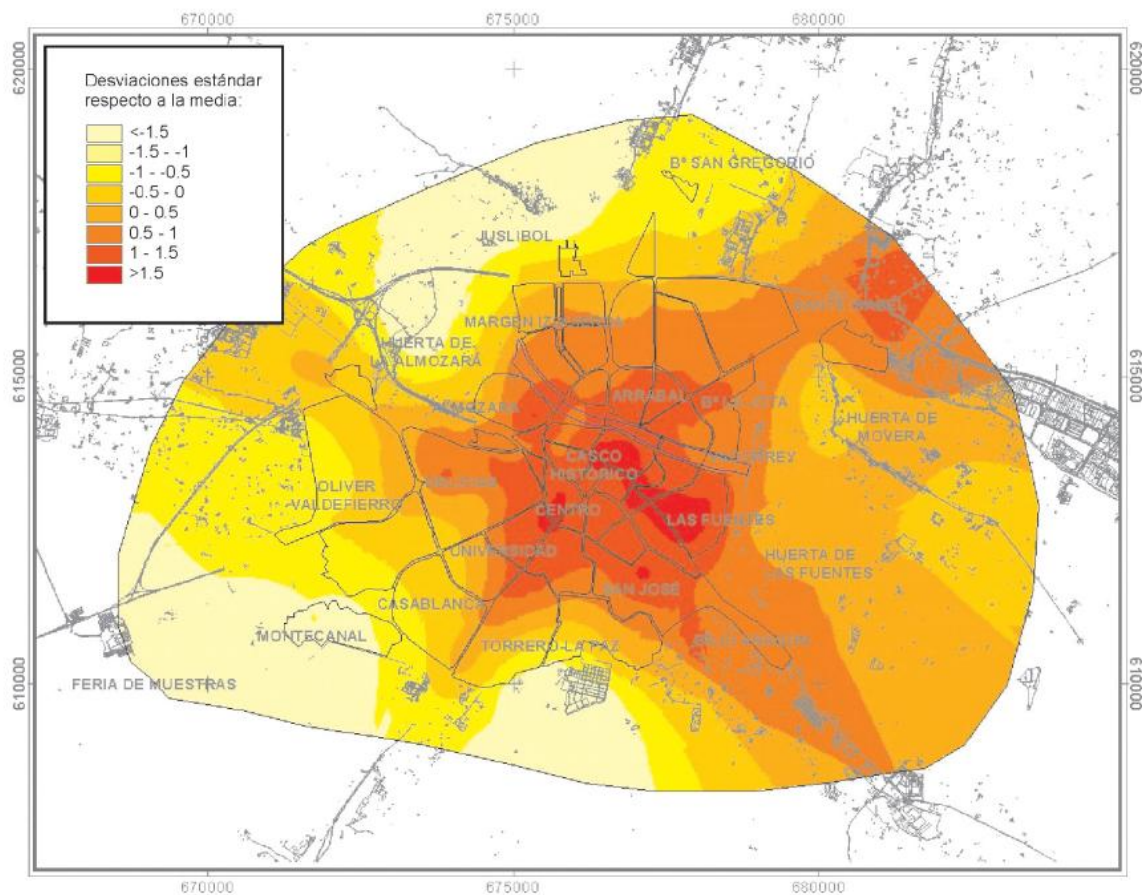


Figura 4. Mapa térmico promedio de Zaragoza. [Fuente: Cuadrat Prats, José M; 2005]

La tendencia climatológica actual es a que las temperaturas asciendan. [Cuadrat Prats, José M.; 2005] Y a que las precipitaciones sean más intensas y erráticas.

4.3. SUDS

En las técnicas de drenaje urbano convencional se tiende a canalizar y controlar las aguas residuales y el agua procedente de las tormentas. El resultado es un sistema de tuberías basado en colectores cuyo objetivo es evacuar cuanto antes el agua al medio receptor.

Esto presenta varias problemáticas. La primera es que la mala calidad de las aguas vertidas ocasiona un impacto en el medio receptor. Hoy en día se sabe que las aguas de lluvia son una fuente de contaminación, este efecto se acentúa si la red es unitaria.

El desarrollo urbano genera una afluencia de agua mayor en los sistemas convencionales cuando los índices de urbanización superan la planificación inicial. En ese momento, las infraestructuras quedan infradimensionadas; esto ocasiona inundaciones y escorrentía superficial en las urbes. Este desarrollo urbano conlleva una impermeabilización creciente del suelo donde se sitúa la población. El ciclo hidrológico natural se ve modificado, se reducen la intercepción natural, la evapotranspiración y la infiltración.

Por todo lo anteriormente mencionado, el volumen total de escorrentía es mayor, además la inundación es más rápida (se reduce el tiempo al pico).

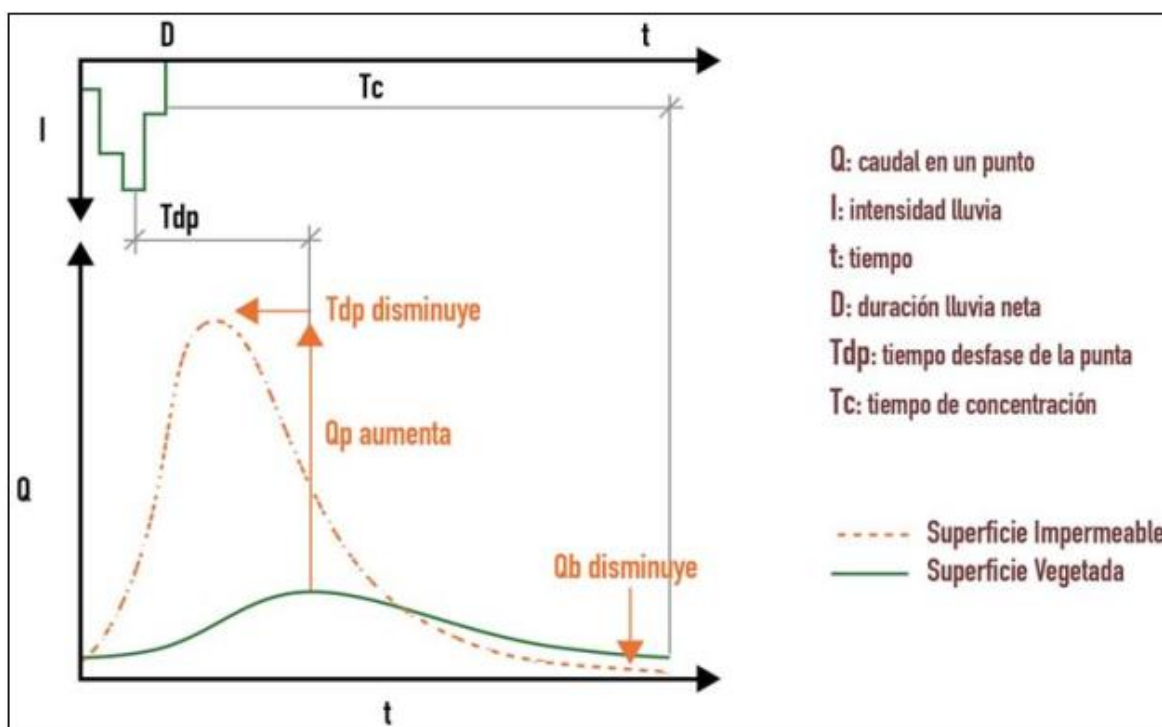


Figura 5. Evolución de los parámetros de lluvia por el desarrollo urbanístico.
[Fuente: Soriano Martínez, 2015]

Relativo a la calidad del agua, los problemas pueden estar generados porque estas escorrentías arrastran contaminación de fuentes difusas, vertidos de depuradoras desbordadas y descargas de sistemas unitarios. Durante el tiempo en seco las sustancias no deseadas se depositan en la superficie, que se lava en los episodios de lluvia. Si la red es unitaria puede haber arrastre de sedimentos provenientes de las aguas residuales. Los efectos varían de la disminución de oxígeno en el agua (provocando oxidación de otros elementos), la muerte de fauna, acumulación de tóxicos (con riesgo de incluirlos en la cadena trófica) o la contaminación por patógenos.

Desarrollo

Los SUDS engloban un rango variado de soluciones que permiten aunar con éxito el planteamiento, diseño y gestión de aguas pluviales; sin olvidar los aspectos medioambientales al tratar los hidráulicos e hidrológicos.

Su objetivo es reproducir, de alguna manera, el ciclo hidrológico previo a la actuación del hombre, minimizar los impactos urbanísticos a la vez que vela por la integración paisajística y los valores ambientales.

4.3.1. Objetivos

- *Proteger los sistemas naturales:* proteger y mejorar el ciclo del agua en entornos urbanos.
- *Integrar el tratamiento de las aguas de lluvia en el paisaje:* maximizar el servicio al ciudadano mejorando el paisaje con la integración de cursos y/o láminas de agua en el entorno.
- *Proteger la calidad del agua:* proteger la calidad de las aguas receptoras de escorrentías urbanas.
- *Reducir volúmenes de escorrentía y caudales punta:* reducir caudales punta procedentes de zonas urbanizadas mediante elementos de retención y minimizando áreas impermeables.
- *Incrementar el valor añadido minimizando costes:* minimizar el coste de las infraestructuras de drenaje al mismo tiempo que aumenta el valor del entorno.

4.4. CLASIFICACIÓN

Hay varias clasificaciones posibles según la publicación que se consulte.

Según la organización CIRIA, la primera posible clasificación es de la siguiente manera:

Conjunto de SUDS	SUDS
Retención	Lagos de retención
	Almacenamiento bajo superficie
Humedal	Humedal superficial
	Humedal de detención prolongada
	Lago / Humedal
	Pequeños humedales
	humedal de grava sumergida

Infiltración	Zanja de infiltración
	Cuenca de infiltración
	Soakaway
Filtración	Filtro de arena superficial
	Filtro de arena sub-superficial
	Filtro de arena perimetral
	Bandas filtrantes/biorretención
	Cenagales
Detención	Cuencas de detención
Canales abiertos	Cenagal de transporte
	Cenagal de mejora seca
	Cenagal de mejora húmeda
Control de origen	Cubierta verde
	Colector de agua de lluvia
	Pavimento permeable

Tabla 2. Ejemplos y clasificación de los SUDS [Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación de CIRIA]

Otra posible clasificación es la siguiente:

Control en origen	Transporte	Regulación y tratamiento
Cubierta verde	Filtros drenantes	Cuencas de infiltración
Superficies permeables	Humedales	Cuencas de detención
Lagos de retención		Cuencas de retención
Áreas de infiltración		Humedales

Tabla 3. Clasificación de SUDS. [Fuente: Elaboración propia a partir de la clasificación de CIRIA]

4.5. CUBIERTAS VERDES

Se define como cubiertas verdes aquellos techos ajardinados parcial o totalmente. No entran en esta definición aquellos tejados que contengan macetas o jardineras; las cubiertas verdes tienen una característica constructiva y cumplen funciones hidrológica y ecológica.

Desarrollo

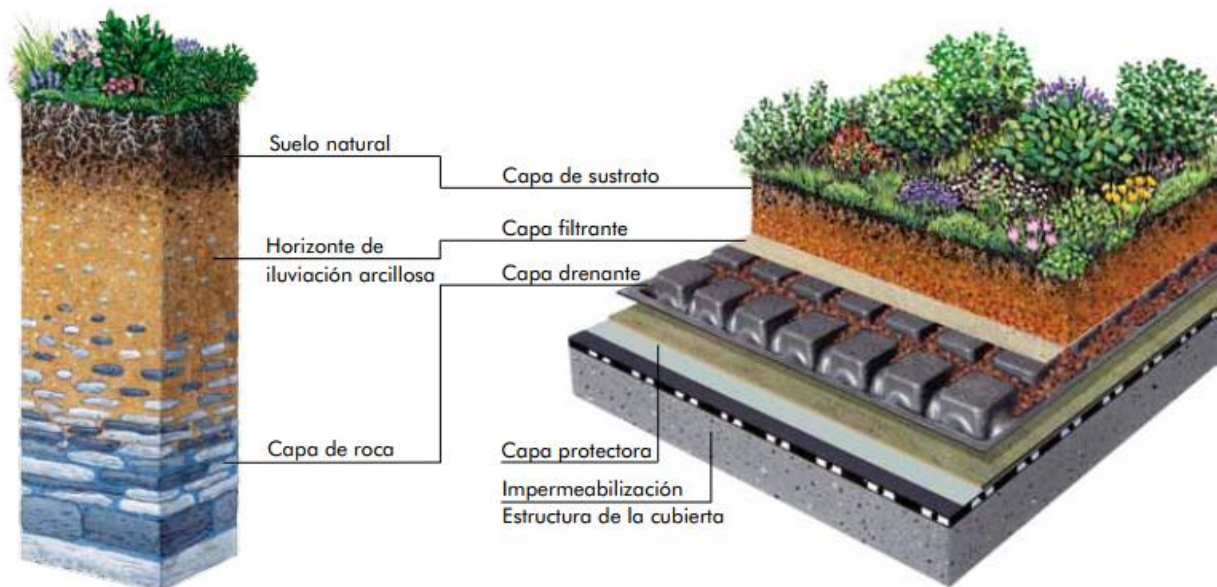


Figura 6. Comparación Situación natural VS Cubierta verde. Fuente: ZinCo

Además de tener una misión hidrológica, los techos verdes presentan numerosas ventajas y se llevan utilizando desde hace siglos.

4.5.1. Antecedentes

Tal y como las conocemos hoy en día las cubiertas verdes, con sus bases constructivas, se asentaron en Alemania en el siglo XIX. Sin embargo, si observamos la historia, podemos encontrar vestigios de cubiertas muchos años antes.

En el Neolítico, 3500 a.C. podemos encontrar cubiertas verdes en algunas edificaciones funerarias; son las conocidas como Tumbas de Corredor. La impermeabilización no se necesitaba por lo que solo estaban formadas por una cubierta de piedra y una capa de sustrato.

De la Edad antigua no se ha conservado ningún edificio como tal; pero sí que han llegado hasta nuestros días grabados egipcios (donde se muestran edificaciones con árboles en la cubierta) y descripciones de historiadores griegos y romanos (un ejemplo de esto son los antiguos jardines colgantes de Babilonia, de los que no se conserva ningún vestigio arqueológico, pero sí que se conservan textos que hablan sobre ellos).

Los Horti pensiles son el equivalente romano, en ellos si se requería impermeabilización, ya que formaban parte de palacios y estancias. Estaban compuestos de una gruesa capa de mortero apisonado hecho de pedazos de cerámica, arena y cal o piedra caliza finamente molida, que se colocaba sobre la estructura (cocciopesto u opus signium) y que era impermeable.

Seguramente los más conocidos sean los edificios de los países escandinavos, Islandia e Islas Feroe. En los países bálticos, las cubiertas tenían una inclinación entre 22 y 44° (Para que el agua se evacuase por gravedad). Colocaban también una especie de topos de abedul para mejorar la estanqueidad. Lo más llamativo es que colocaban dos tapetes de césped, pero uno invertido y el otro no; de esta manera la capa vegetal resistía a la erosión (las raíces superiores al cabo de un año habían penetrado la capa inferior).

En Islandia, el concepto era el mismo, aunque sí que sufría variaciones. La inclinación era de 45° para que la turba resultase impermeable.

Ya en 1839, Samuel Häuslen puso en práctica la cubierta Holzzementdach (techo de cemento-madera). Las pendientes pasan a ser entre el 5 y el 10%. La impermeabilización se lograba con capas de papel impregnado de alquitrán, asfalto y azufre, por encima había una capa de arenas y otra de gravas. Por encima de esta última crecían las plantas.

En 1860, Eduard Rüber publicó el sistema que había elaborado y su experiencia con él. Él proponía tratar la madera con alquitrán y cenizas para protegerla e impermeabilizarla. Después de la madera se colocaban capas de papel impregnado con alquitrán. Por último, se remataba con una capa de arena y otra de sustrato.

En 1867, Karl Rabitz publicó su versión formada por tablonces de madera, membrana alquitranada y por cemento volcánico. Sobre esto ya se extendía arena arcillosa y sustrato.

A lo largo del siglo XX se buscó abaratar costes, disminuir mantenimientos y aligerar pesos [Gonzalez Ciller, L; 2015].

4.5.2. Tipos

La clasificación más extendida es la siguiente: [Bárcena Pasamontes, A.; 2017]

– **Sistemas extensivos**

Estos sistemas cubren toda el área del tejado con plantas resistentes, de crecimiento lento, resistentes a la sequía y que requieren poco mantenimiento. Solo se accede a la cubierta para mantenimiento. Pueden ser inclinadas o no. Los espesores van desde los 2 hasta los 20cm. Admiten una sola capa de sustrato; son adecuados para construcciones ya existentes.

Ventajas

- – Peso ligero
- – Apto para grandes áreas
- – Apto para tejados con pendientes de 0 – 30°
- – Bajo manteniendo y alta vida útil
- – Normalmente no requieren riego
- – Adecuado para aplicarlo en edificios existentes
- – Relativamente más barato

Desventajas

- – Las plantas están sometidas a mayor estrés hídrico y por tanto menor biodiversidad
- – Eficiencia energética limitada
- – Menor capacidad de retención de agua de escorrentía
- – Beneficios estéticos y sociales limitados

Sistema "Sedum Tapizante"

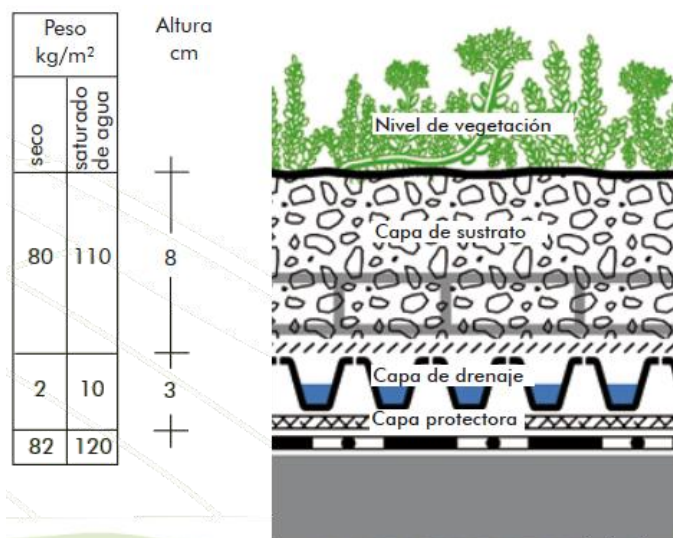


Figura 7. Sistema sedum tapizante. Fuente: ZinCo

Es una estructura estándar de cubierta verde extensiva, un sistema ligero de poco espesor que requiere poco mantenimiento.

Es indicado para cubiertas sin encharcamientos y pendientes hasta 8°.

- Espesor de la estructura: aprox. 11 cm
- Peso saturado de agua: aprox. 120 kg/m²
- Volumen de retención de agua: aprox. 30 l/m²

Sistema "Tapizante floral"

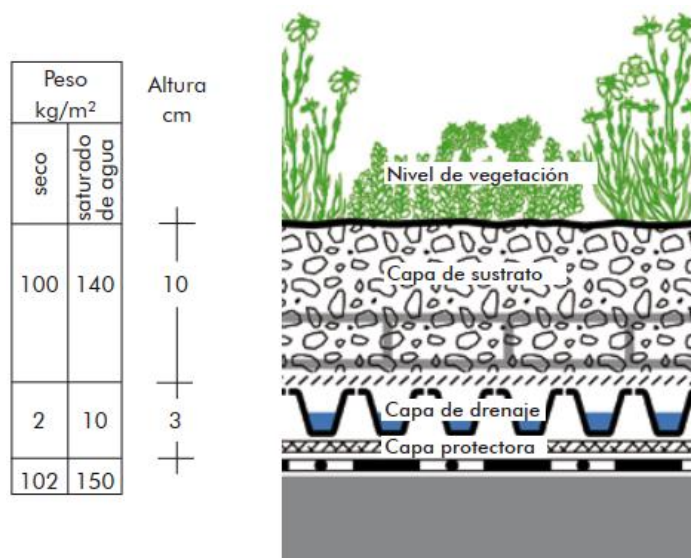


Figura 8. Sistema tapizante floral. Fuente: ZinCo

Presenta una gran variedad vegetal como producción ecológica.

Su mayor ventaja son las posibilidades en cuanto a diseño paisajístico.

Es indicado para cubiertas sin encharcamientos y pendientes hasta 8°.

- Espesor de la estructura: aprox. 13 cm
- Peso saturado de agua: aprox. 150 kg/m²
- Volumen de retención de agua: aprox. 50 l/m²

Desarrollo

Sistema "Tapizante floral" en cubiertas invertidas

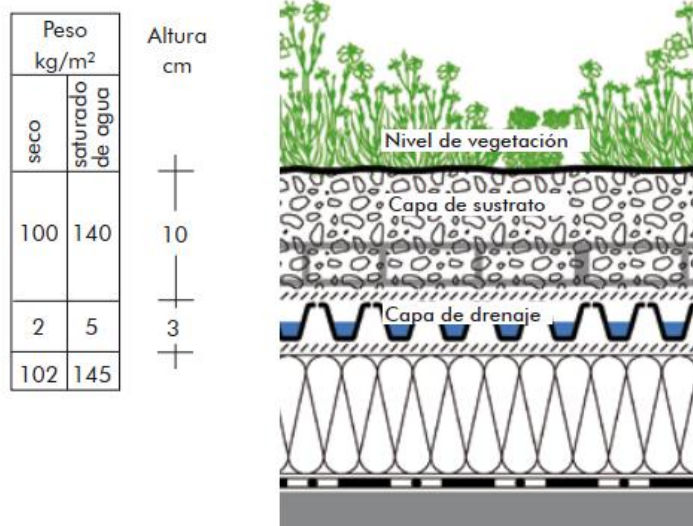


Figura 9. Sistema tapizante floral en cubierta invertida. Fuente: ZinCo

En una cubierta invertida el aislamiento térmico se coloca encima de la impermeabilización.

Cubiertas sin encharcamientos y pendiente hasta 8°

Mantenimiento escaso y muchas posibilidades de diseño paisajístico.

- Espesor de la estructura: aprox. 13 cm
- Peso saturado de agua: aprox. 145 kg/m²
- Volumen de retención de agua: aprox. 40 l/m²

Sistema "Con riego integrado"

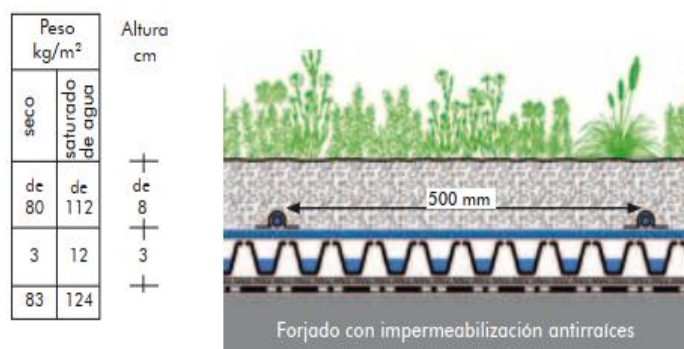


Figura 10. Sistema Con riego integrado. Fuente: ZinCo

En climas secos y cálidos, o aquellos que presenten largos periodos de sequía, necesitan un sistema de riego, incluso aunque la vegetación esté basada en Sedums.

Este riego se usa para asegurar la correcta implantación o en periodo de sequia.

Es riego por capilaridad.

Cubierta plana o hasta 5°

- Espesor: a partir de aprox. 11 cm
- Peso saturado de agua: a partir de aprox. 125 kg/m²
- Capacidad acumulativa de agua: a partir de aprox. 41 l/m²

Sistema "Cubierta inclinada hasta 20°"

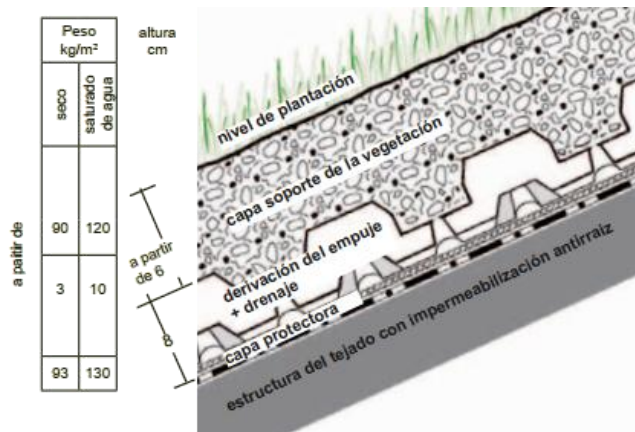


Figura 11. Sistema Cubierta inclinada hasta 20°. Fuente: ZinCo

Inclinación de la cubierta:	10 - 15°	15 - 20°	20 - 25°	
Altura de la estructura aprox.:	14	15	16	cm
Peso saturado de agua aprox.:	130	145	160	kg/m²
Capacidad acumulativa de agua aprox.:	36	40	44	l/m²

Los requisitos prioritarios son la estabilidad del sustrato y la retención de agua.

Requiere impermeabilización antirraíz en cubiertas con una pendiente 10° y 20°.

Los elementos transfieren las fuerzas de empuje al forjado; el perfil alero y los soportes antiempuje tienen que ser conformes a la estructura,

- Espesor: aprox. 15 cm
- Peso saturado de agua: aprox. 145 kg/m²
- Capacidad acumulativa de agua: aprox. 45 l/m²

Sistema "Cubierta inclinada hasta 35°"

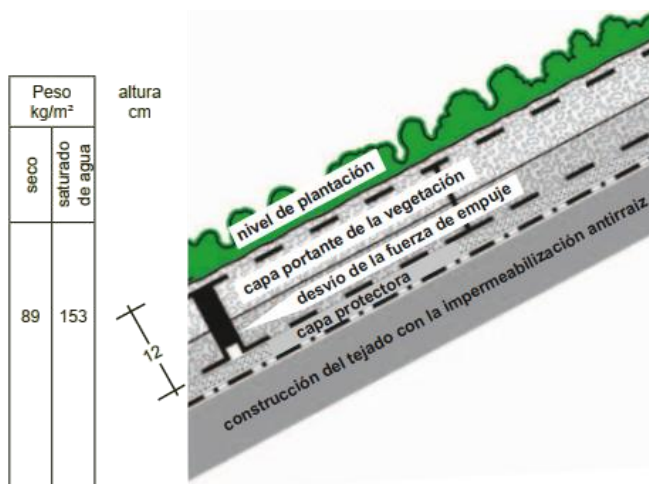


Figura 12. Sistema Cubierta inclinada hasta 35°. Fuente: ZinCo

La selección de plantas tiene que estar bien adaptada a las condiciones extremas de una inclinación grande; ya que la radiación solar es mayor y la velocidad de escorrentía también.

Indispensable capa anti raíces, y barreras de retención adicionales.

- Altura de la construcción: aprox. 12 cm
- Peso saturado de agua: aprox. 155 kg/m²
- Capacidad acumulativa de agua: aprox. 64 l/m²

Desarrollo

– **Sistemas intensivos**

Estos sistemas son más complejos y se diseñan para que puedan promover el uso y disfrute de la cubierta. Las especies vegetales que se plantan en este tipo de cubiertas son mucho más variadas, desde hierbas hasta árboles. También pueden incluir otros sistemas de almacenamiento de agua para uso de riego. Requieren un mantenimiento regular y deben ser de fácil acceso ya que normalmente son de acceso público. Los espesores de este tipo de cubiertas son mayores a 20 centímetros, por lo que las cargas sobre el edificio serán mayores.

Ventajas

- – Mayor diversidad de plantas y hábitats
- – Buenas propiedades de aislamiento
- – Muy atractivo visualmente
- – Posibilidad de uso recreativo, uso agrícola local
- – Mayor eficiencia energética
- – Mayor eficiencia en retención de agua de escorrentía
- – Mayor vida útil de la membrana impermeable

Desventajas

- – Mayor carga sobre el edificio
- – Necesidad de riego y mantenimiento regular
- – Mayor coste de implantación y mantenimiento
- – Sistema más complejo

Sistema "Cubierta jardín"

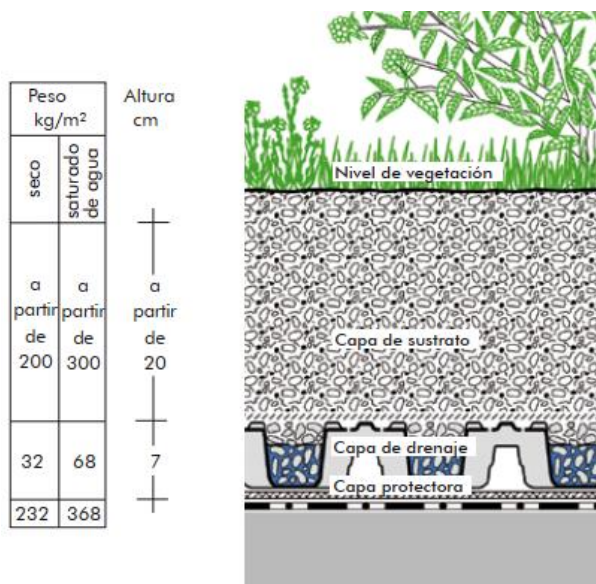


Figura 13. Sistema Cubierta Jardín.
Fuente: ZinCo

Tiene un alto almacenamiento de agua.

Adecuado para césped, planta perenne. Si se aumenta el sustrato también es posible colocar arbustos o árboles.

Permite integrar zonas de distintos usos como recreativos o de paseo.

Es posible realizar aljibes

- Espesor de la estructura: a partir de 27 cm
- Peso saturado de agua: a partir de 370 kg/m²
- Volumen de retención de agua: a partir de 136 l/m²

Sistema "Huerto urbano"

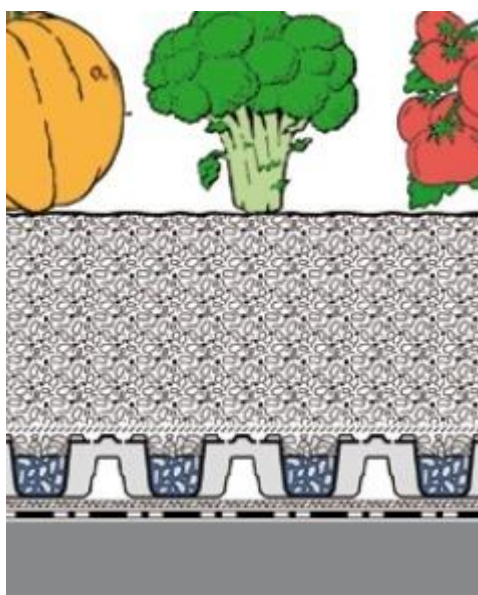


Figura 14. Sistema Huerto urbano.
Fuente: ZinCo

El espesor del sustrato varía entre 20 y 40 cm dependiendo de las frutas o verduras que se quieran cultivar.

También depende de ellas la necesidad de riego y fertilización.

- Espesor: aprox. 25 cm
- Peso saturado de agua: aprox. 300 kg/m²
- Capacidad acumulativa de agua: aprox. 100 l/m²

Desarrollo

Para espesores entre 10 y 20 cm existe la tendencia de denominarlas semi-intensivas debido a que sus características son propias de ambos tipos de sistemas.

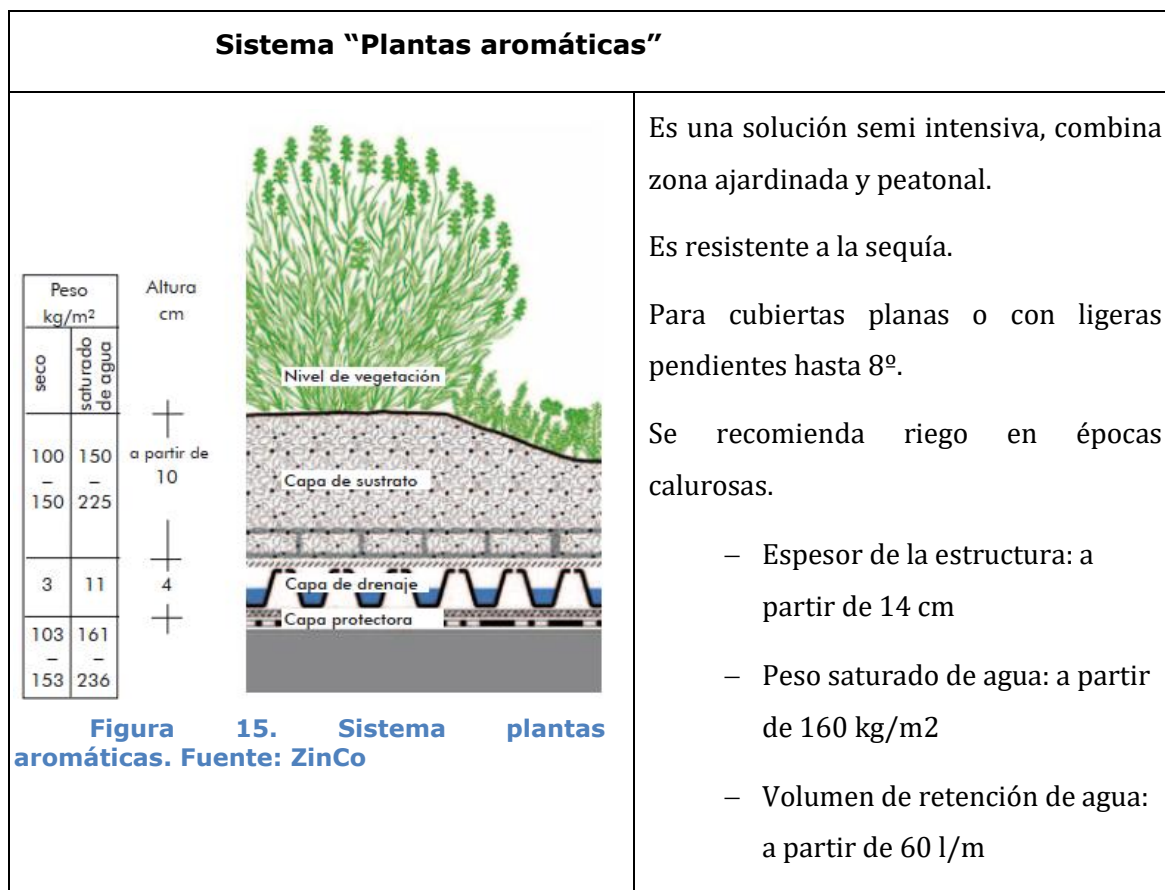


Figura 15. Sistema plantas aromáticas. Fuente: ZinCo

A continuación, se presenta una tabla resumen.

	Sistemas extensivos	Semi-Intensivos	Sistemas intensivos
Espesor [mm]	20 - 125 mm	125-180 mm	> 180mm
Peso [kg/m²]	74-122	122-195	170-390 Es probable que necesiten reforzar la estructura
Peso saturado [kg/m²]	95-175	195-280	350-815
Capacidad de retención de agua [l/m²]	25 - 65	70	113
Plantas	Musgos, sedums, suculentas y algunas gramíneas	Algunos perennes, sedums, aromáticas y pequeños arbustos	Plantas perennes, arbustos, árboles e incluso agricultura
Acceso	Normalmente no son accesibles	Dependiendo de la finalidad	Accesibles como espacios comunes
Riego	Normalmente no es necesario	Parcialmente, según necesidad	Ocasional o frecuente
Mantenimiento	Mínimo o ninguno	Medio	Regular
Coste	Bajo	Medio	Alto

4.5.3. Beneficios

Los techos ajardinados proporcionan a las ciudades construcciones ecológicas y económicas. Algunas de las ventajas de estos sistemas [Minke, G; 2015] son:

- Producen oxígeno y absorben CO₂

Mediante la fotosíntesis de las plantas se produce el cambio de CO₂ a O₂; mediante la respiración de las plantas se consume O₂ y se produce CO₂, sin embargo, de las sustancias ganadas por la fotosíntesis (glucosa y O₂) solamente son consumidas de nuevo entre un 20 y un 30%. Es decir, que mientras se genere hoja verde y haya un equilibrio crecimiento-muerte de partes de plantas existirá esta ventaja.

- Disminuye las superficies pavimentadas

El mal clima en los entornos urbanos se puede modificar convirtiendo los tejados en pseudo-parques. Además, disminuye el efecto isla de calor que se observa en los núcleos urbanos (donde la diferencia de temperatura entre una ciudad y su centro puede ser de hasta 10°C)

Desarrollo

- Filtran las partículas de polvo y suciedad del aire y absorben las partículas nocivas.

Estas partículas quedan adheridas a las hojas de las plantas y son arrastradas con la lluvia. Además, las plantas tienen la capacidad de absorber algunas que se presentan en forma de gas.

- Reducen las variaciones de temperatura del ciclo día-noche

Mediante la evaporación de agua, la fotosíntesis y la capacidad de almacenamiento de la misma la planta extrae calor del ambiente.

- Disminuyen las variaciones de humedad en el aire.

Cuando el aire está seco evaporan una gran cantidad de agua, elevando así la humedad ambiente; y disminuye cuando se forma el rocío. Las moléculas de agua suspendidas condensan sobre las hojas y tallos que luego pasan al suelo en forma de gotas de agua.

- Tienen una larga vida útil (sujeta a ejecución y mantenimiento)

En un tejado convencional, la vida útil está condicionada al material de que se componga; así, las inclemencias del tiempo y agentes nocivos como gases provenientes de las industrias causan daños mecánicos y/o procesos de descomposición químicos o biológicos. Así, en una cubierta ajardinada, la capa impermeable queda protegida tanto de los rayos UV como de los daños mecánicos.

- Surten efecto como aislamiento térmico

Parte de la radiación calórica es absorbida por la planta y otra parte es reflejada por las hojas.

- Protegen de los intensos rayos solares del verano a las habitaciones ubicadas bajo el techo.

Por un lado, a causa de la sombra que produce la vegetación, la radiación solar no llega a calentar a tierra; la energía solar es ampliamente usada para la evaporación de agua, reflexión y para la fotosíntesis.

- Reducen el pasaje de sonido del exterior

Las plantas reducen el ruido mediante la absorción, reflexión y deflexión.

- Absorben lluvia, por lo que alivian el sistema de alcantarillado.

En muchas ciudades, existe el peligro de que después de una lluvia torrencial las calles queden inundadas. El poder de retención de una cubierta verde viene definido sobre todo por el sustrato y su espesor.

- Generan aromas agradables

Es posible colocar hierbas aromáticas como el tomillo y la lavanda, que no sólo producen aromas agradables, sino que no son perjudiciales a la salud, como lo pueden ser los efluvios de un tejado bituminoso.

- Positivos para la fauna urbana como pájaros e insectos.

Sirven de hogar y alimento para insectos (como abejas) o pájaros granívoros o insectívoros.

- Son estéticos, esto influye positivamente en el estado de ánimo y distensión de las personas.

Anímicamente es mejor para las personas que exista una superficie verde.

4.5.4. Estructura

En este apartado se procede a definir las distintas capas de las que está formada una cubierta verde. En orden ascendente desde la base de la cubierta: [Bárcena y cols, 2017] [Ayuntamiento de Barcelona, 2015]

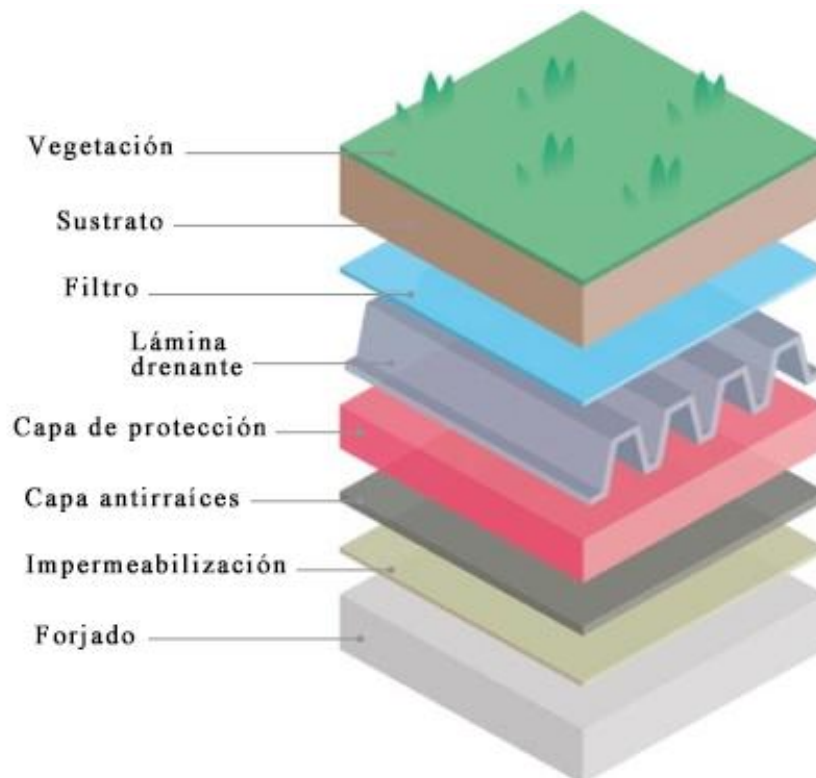


Figura 16. Capas de una cubierta verde. [Fuente: Guía de Cubiertas verdes del Ayuntamiento de Barcelona, 2017]

– Protección de la impermeabilización

Para que no se dañe la lámina impermeable es importante colocar una capa de protección. Dependiendo del acabado se recomienda colocar un elemento u otro: pavimento de mortero sobre la impermeabilización, pavimento flotante sobre la impermeabilización, cubierta verde o huerto sobre la impermeabilización.

– Lámina drenante de la cubierta

Esta capa cumple la función de drenar, ventilar, retener el agua y proteger la impermeabilización. Dependiendo de la pendiente, tipo de vegetación y el uso que se le dé a la cubierta el tipo de placa drenante cambiará.

– Filtros

La capa filtrante tiene como misión evitar el paso de las partículas finas del sustrato hacia la capa drenante. Es clave el uso de geotextiles diseñados específicamente para cumplir esta función.

– Sustrato

Esta capa es capital para el buen desarrollo de la vegetación y está diseñada específicamente para esta función. El sustrato debe cumplir los siguientes requisitos:

- Permitir la función de drenaje. La permeabilidad es una característica muy importante, se deben evitar encharcamientos. Al mismo tiempo, se debe tener en consideración una cierta capacidad de retención de agua para que las plantas aprovechen parte del agua de lluvia.
- Respetar el diseño de cargas del edificio. Al estar en zonas elevadas se tiende a escoger materiales lo más ligeros posible.
- Cumplir con la función de protección requerida,
- Ser adecuado al tipo de vegetación,
- Garantizar que la vegetación se mantenga de forma permanente
- Limitar los costes de mantenimiento.

Será una mezcla de suelo orgánico y mineral, poseerá poros que le permitan retener una cantidad adecuada de aire. Debe mantener las características físicas y químicas necesarias para que las especies vegetales se mantengan vivas. En suelos naturales son los limos y arcillas los que se encargan de la retención de agua; sin embargo, en cubiertas es preferible estimularla mediante materia orgánica o elementos granulares muy porosos que permitan que el agua entre y se vaya liberando lentamente.

Desarrollo

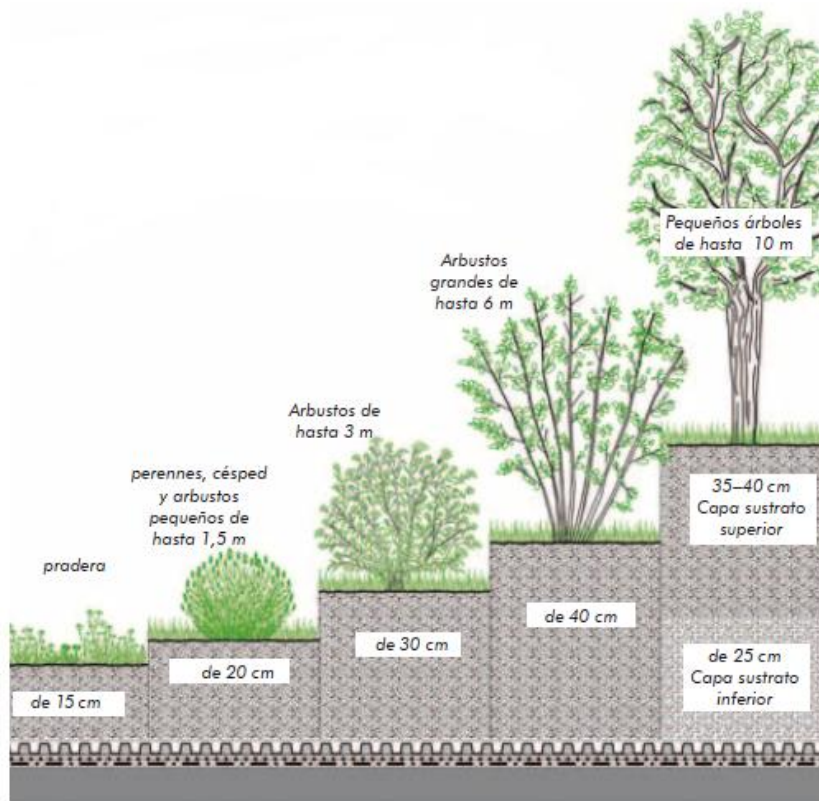


Figura 17. Espesor del sustrato en función de la vegetación plantada. Fuente: ZinCo

La textura del suelo señala la proporción en la que se encuentran distribuidas las partículas del sustrato. Se preferirán suelos francos por ser muy porosos, no tener una alta capacidad de retención de agua

– Vegetación

Se priorizan especies que se adapten fácilmente a condiciones extremas, con resistencia a cambios bruscos de temperatura, resistentes al viento, resistentes a afecciones de enfermedades y con poco requerimiento de nutrientes, que no sean alérgenos y con poco desarrollo radicular.

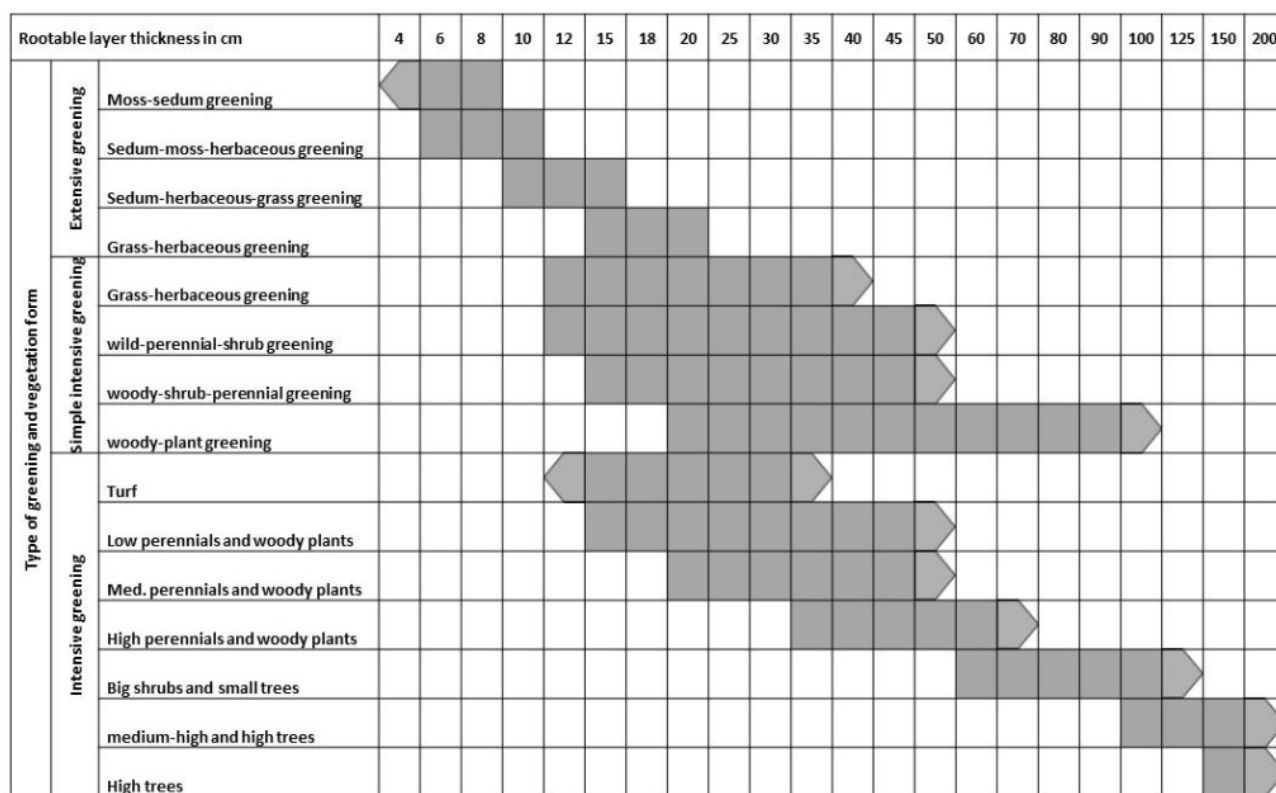


Tabla 4. Especies vegetativas recomendables según espesor del sustrato. [Fuente: Manual de SWMM]

En la tabla 4 se muestran recomendaciones de especies vegetales dependiendo del espesor del sustrato que se haya colocado (y por extensión, el tipo de cubierta). De esta manera el software recomienda:

Extensiva	Semi-Intensiva	Intensiva
Musgos, sedum y herbáceas.	Herbáceas, césped, arbustos medianos.	Plantas de tronco y perennes, arbustos grandes y árboles.

Tabla 5. Especies vegetales según el tipo de cubierta basado en la Tabla 4 [Elaboración propia]

En el siguiente apartado se va a tratar este tema más específicamente.

4.5.5. Vegetación

La vegetación cumple una función protectora de la cubierta: la protege de la erosión, atrapa y absorbe el agua de la lluvia, contribuye a la refrigeración de la superficie gracias a la sombra y a la transpiración, proporciona un lugar habitable para pequeños animales en el medio urbano, captura contaminantes y proporciona una fuente de oxígeno.

Las especies vegetales se deben elegir dentro de las posibilidades climáticas de la región. Hay varios criterios con los que hay que tener precaución al elegir la vegetación que se va a colocar. A saber, hay que tener en cuenta el clima, el propósito, el tipo y la extensión de la cubierta [Jimenez Camacho et al, 2015]

Origen	Clima
<ul style="list-style-type: none">• Especies nativas y naturalizadas• Especies foráneas y adaptadas	<ul style="list-style-type: none">• Temperatura• Precipitación anual• Índice de humedad• Exposición
Sustrato	Ornamentales
<ul style="list-style-type: none">• pH• Humedad• Materia orgánica• Textura	<ul style="list-style-type: none">• Tamaño• Forma y hábito• Textura• Color

Tabla 6. Criterios para seleccionar la vegetación de una cubierta verde [Elaboración propia en base a Jiménez Camacho et al., 2015]

Como ya se ha especificado en el punto X.X el clima de Zaragoza es mediterráneo con influencia continental. Esta influencia continental mencionada se hace patente en la diferencia de temperaturas entre el invierno y el verano (incluyendo días con heladas en invierno).

Las especies más utilizadas en términos generales, y mejor adaptadas para el clima de Zaragoza, pertenecen a las gramíneas, algunas aromáticas, y también diversas especies suculentas, como los sedum.

4.5.5.1. *Sedum*

Los sedum pertenecen a la especie de plantas denominadas suculentas. Son de la familia de las crasuláceas. Estas plantas almacenan agua en parte de la propia planta; en el caso de los sedum esta agua se almacena en las hojas.

Esta especie de plantas tiene las raíces muy superficiales, lo que la hace ideal para las cubiertas extensivas, son resistentes a la sequía y muy resistentes a enfermedades e insectos. Suelen ser perennes con lo cual la cubierta estaría vegetada todo el año. Suelen solicitar luz de sol directa, muy indicado para colocar en una cubierta.

Sedum album

Distribución: En general la toda la península ibérica y toda la cuenca mediterránea; hasta el norte de Europa.

Suelo: Indiferente.

Aspecto: Hojas verdes y rojizas en invierno. Flores blancas.

Exposición: Luz de Sol directa



Figura 18. *Sedum album*
[www.carex.cat, 2016]

Sedum sediforme

Distribución: Toda la Península Ibérica (excepto al noroeste).

Suelo: Indiferente. Requiere buen drenaje.

Aspecto: Hojas gris azuladas. Flores blancas

Exposición: Luz de Sol directa



Figura 19. *Sedum sediforme*
[www.carex.cat, 2016]

Desarrollo

Sedum acre

Distribución: Toda Europa, Asia occidental y noroeste de África. General en la Península Ibérica menos al suroeste.

Suelo: Indiferente.

Aspecto: Hojas verdes. Flores amarillas.

Exposición: Luz de Sol directa.



Figura 20. Sedum acre
[www.carex.cat, 2016]

4.5.5.2. Plantas aromáticas

Las plantas aromáticas están constituidas por aceites esenciales y suelen proporcionar cierto olor. Se adaptan muy bien a las condiciones del suelo y del clima de Aragón. Se pueden encontrar en la estepa que rodea Zaragoza.

Thymus vulgaris

Distribución: Mitad este de la Península Ibérica, regiones mediterráneas del sur de Francia.



Suelo: Indiferente.

Aspecto: Hojas verdes. Flores blancas rosadas.

Exposición: Luz de Sol directa.



Figura 21. Thymus vulgaris.
[www.carex.cat, 2016]

<p>Lavandula latifolia</p> <p><u>Distribución:</u> Mitad este de la Península Ibérica, hasta el norte de la costa italiana.</p> <p><u>Suelo:</u> Indiferente.</p> <p><u>Aspecto:</u> Hojas azuladas. Flores moradas.</p> <p><u>Exposición:</u> Luz de Sol directa</p>	 <p>Figura 22. Lavandula latifolia. [www.manomano.es, 2015]</p>
<p>Rosmarinus officinalis</p> <p><u>Distribución:</u> Toda la región mediterránea. Se extiende por la Península Ibérica menos en el norte.</p> <p><u>Suelo:</u> Prefiere suelos calizos.</p> <p><u>Aspecto:</u> Hojas verdes con anverso blanquecino. Flores azules claras.</p> <p><u>Exposición:</u> Luz de Sol directa</p>	 <p>Figura 23. Rosmarinus officinalis. [www.carex.cat, 2016]</p>

4.5.5.3. Gramíneas

Suelen ser plantas perennes de porte herbáceo. Pueden cubrir superficies muy extensas. Se debe tener en cuenta que su polen es la principal causa de alergia en Europa.

Desarrollo

Cynodon dactylon

Distribución: Muy extenso. Climas cálidos y templados

Suelo: Indiferente.

Aspecto: Hojas verdes grisáceas. Flores violáceas

Exposición: Luz de Sol directa, tolera sombra.



Figura 24. . Cynodon dactylon.
[Fuente: www.theplantlist.org, 2010]

Festuca Arundinácea

Distribución: En toda la Península ibérica

Suelo: Indiferente. Necesita cierta profundidad

Aspecto: Hojas verdes. Flores espigadas

Exposición: Luz de Sol directa, tolera sombra



Figura 25. Festuca Arundinácea.
[www.zulueta.com, 2017]

Stipa parviflora

Distribución: Norte de África, suroeste de Asia y Europa. En la Península Ibérica sobretodo zonas centrales y este.

Suelo: Calcáreo

Aspecto: Hojas verdes. Flores espigadas


Exposición: Luz de Sol directa, tolera sombra



Figura 26. Stipa Parviflora [Fuente: <http://herbarivirtual.uib.es/>, 2018]

4.5.5.4. *Especies arbustivas*

En este apartado hay diversas especies que se pueden adaptar a las condiciones de la cubierta, tanto de hoja caduca como perenne. Dependerá más del uso de la azotea. [Acero Oliete et al. 2018]

<p>Abelia x grandiflora</p> <p><u>Distribución:</u> Común en Europa y África.</p> <p><u>Suelo:</u> No calcáreo y permeable.</p> <p><u>Aspecto:</u> Hojas verdes. Flores blanco rosadas. Cáliz rojo tras la floración.</p> <p><u>Altura:</u> Hasta 2m.</p> <p><u>Exposición:</u> Luz de Sol directa, tolera media sombra.</p>	 <p>Figura 27. Abelia x grandiflora [Fuente: https://plantasparacercoyjardin.com, 2017]</p>
<p>Nerium oleander</p> <p><u>Distribución:</u> Común en toda la región mediterránea y regiones de África y Canarias.</p> <p><u>Suelo:</u> Indiferente.</p> <p><u>Aspecto:</u> Hojas oliváceas. Flores de diversos colores.</p> <p><u>Altura:</u> Hasta 4m.</p> <p><u>Exposición:</u> Luz de Sol directa.</p>	 <p>Figura 28. Nerium oleander. [Fuente: fichas.infojardin.com, 2017]</p>

Desarrollo

Cornus alba

Distribución: Regiones templadas y frías del hemisferio norte.

Suelo: Prefiere suelos ácidos, pero soporta la cal.

Aspecto: Hojas verdes con el perímetro blanquecino. De hoja caduca. Flores blancas.

Altura: Hasta 2 m.

Exposición: Luz de Sol directa o semisombra.



Figura 29. *Cornus alba* [Fuente: www.gardens4you.com, 2018]

Hibiscus syriacus

Distribución: Regiones con veranos cálidos.

Suelo: Prefiere suelos permeables, admite suelos calizos.

Aspecto: Hojas verdes. De hoja caduca. Flores de diversos colores.

Altura: Hasta 3 m.

Exposición: Luz de Sol directa.



Figura 30. *Hibiscus syriacus*. [Fuente: fichas.infojardin.com, 2017]

4.5.5.5. *Especies arbóreas*

Si se plantea colocar especies arbóreas en una cubierta conviene recordar que incluso los árboles que tienen la calificación de "pequeños" llegan a medir de 3 a 5m y su copa llega a alcanzar un diámetro de 3m.

Albizia julibrissim

Distribución: Muy diversa. Estados Unidos y África tropical. Muy habitual en las zonas costeras de España.

Suelo: Indiferente. Requiere buen drenaje

Aspecto: Hojas verdes bipinnadas. De hoja caduca. Flores rosas formadas por estambres.

Altura: Alrededor de los 5 m. Puede llegar a los 12m

Exposición: Luz de Sol directa.



Figura 31. Albizia julibrissim
[Fuente: www.agromatica.es, 2019]

Cercis siliquastrum

Distribución: Región mediterránea.

Suelo: Prefiere calizos y con buena permeabilidad.

Aspecto: Hojas verdes. De hoja caduca. Flores rosas. Florece antes de desarrollar hojas.

Altura: Entre los 5 los 7 m

Exposición: Luz de Sol directa.

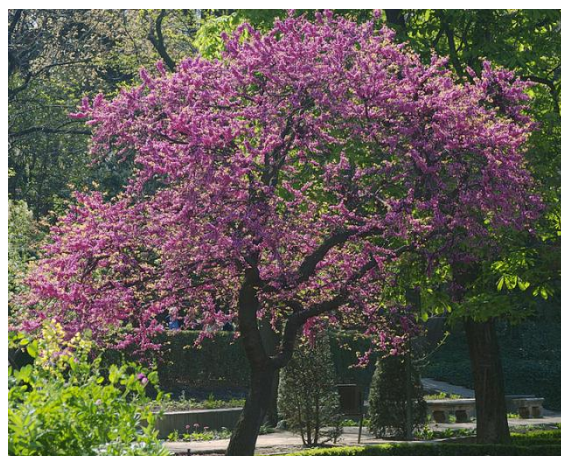


Figura 32. Cercis siliquastrum
[Fuente: www.arbolesibericos.com, 2013]

Desarrollo

Elaeagnus angustifolia

Distribución: En la Península Ibérica es común en la zona este y central.

Suelo: Indiferente.

Aspecto: Hojas grises. De hoja caduca. Flores amarillas con olor. Tiene espinas.

Altura: Alrededor de los 7 m y 5 m de diámetro.

Exposición: Luz de Sol directa.

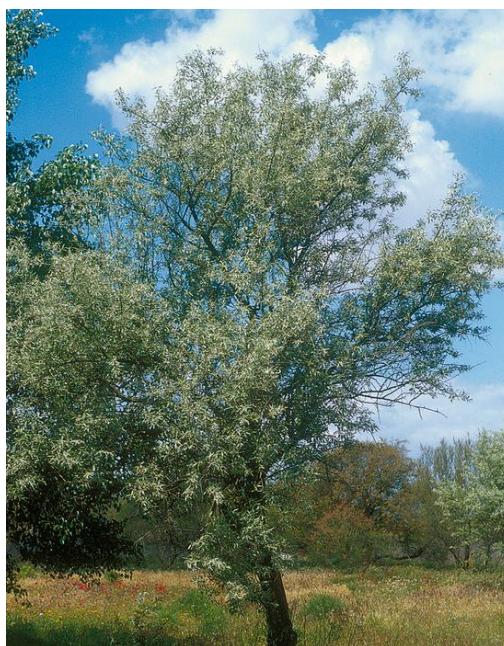


Figura 33. Elaeagnus angustifolia
[Fuente: www.arbolesibericos.com, 2013]

Pinus mugo

Distribución: Zonas de montaña .

Suelo: Ligeramente ácido.

Aspecto: Hojas Acículas verde oscuro. Planta perenne.

Altura: No sobrepasa los 3 m.

Exposición: Luz de Sol directa.



Figura 34. Pinus mugo [Fuente: fichas.infojardin.com, 2017]

4.6. ESTUDIO ESTRUCTURAL

El presente estudio se va realizar en un marco realista de la ciudad de Zaragoza; más concretamente, en edificios ya construidos. Se van a analizar edificios de distintos ámbitos públicos (según misión) y época de construcción.

Como es lógico cada una de las capas necesarias para construir un tejado verde añade un valor de carga adicional a la soportada por una cubierta convencional.

El sustrato se debe considerar en estado de saturación.

Así que, en total, como carga permanente de cubierta se considerará el peso total del techo, el sustrato en estado de saturación y la carga vegetal. [Minke, G.; 2015)

4.6.1. Edificios escogidos

La lista completa de edificios potencialmente implementables se encuentra en el Anexo 2 de este trabajo.

A continuación, muy brevemente se van a introducir los edificios que se van a tomar como muestra para este estudio:

4.6.1.1. Cultura



Figura 35. Edificio Juzgados Zaragoza
[<http://www.expozaragozaempresarial.com>, 2019]

En este edificio se sitúan muchas de las sedes de organismos oficiales en Zaragoza; como por ejemplo los juzgados y la Seguridad Social.

Desarrollo



Figura 36. Centro Cívico Delicias [Fuente: www.aragonmusical.com, 2018]

Este edificio ha sufrido varias remodelaciones desde su construcción. Antiguamente se le conocía porque era el mercado del pescado; en la actualidad es un centro cívico.



Figura 37. Facultad de ciencias. [Fuente: ciencias.unizar.es, 2019]

El edificio nuevo de la facultad de ciencias de la Plaza San Francisco

4.6.1.2. Salud



Figura 38. Centro médico de especialidades Ramón y Cajal [Fuente: <http://sectorzaragozados.salud.aragon.es>, 2019]

Este centro de salud está dedicado a pruebas médicas especiales.



Figura 39. Centro de Salud Fernando el Católico [Fuente: <http://sectorzaragozados.salud.aragon.es>, 2019]

Centro de Salud situado en la calle Domingo Miral.

Desarrollo



Figura 40. Centro de Salud Parque Goya 2 [Fuente: avparquegoya.es, 2019]

4.6.1.3. Educación



Figura 41. IES Pablo Gargallo [Fuente: Página oficial IES Pablo Gargallo, 2018]

4.6.1.4. Resumen

	Área de cubierta [m2]
Centro cívico delicias	75
	90
Centro salud Ramón y Cajal	1185
Centro Salud Fernando el Católico	445
Edificio Ciencias	2004
IES Pablo Gargallo	1361,7
	279,5
	234,7
CDM Torrero	167
	167
CS Parque Goya	1456,5

Tabla 7. Resumen de edificios de muestra.

En resumen estos son los edificios y las áreas de los mismos que se van a utilizar para estudiar la posible implementación de las cubiertas verdes en Zaragoza.

4.6.2. Normativa

Es España ha habido tres normativas principales en el ámbito de la construcción; la primera desde 1953 hasta 1977, la segunda de 1977 a 2006 y la última de 2006 hasta la actualidad (2019).

Aunque el estudio estructural no es el objeto principal de este trabajo, se analizará de forma general las capacidades estructurales de diferentes tipologías de edificios públicos en Zaragoza para determinar la viabilidad potencial de albergar cubiertas verdes en dichos edificios.

A continuación, se va a detallar de qué manera se tratan las acciones en cada normativa española.

4.6.2.1. Norma M. V. 101-1962

Esta norma estuvo vigente hasta 1977 y tuvo mucha repercusión en lo que después acabo siendo el Código Técnico. Las reglas que formaban las normas técnicas desde 1957, y que regulaba el Ministerio de Vivienda, se transformaron en las Normas Básicas de la Edificación (NBE, 1977).

Esta norma se aplicaba en "el proyecto y en la obra de toda edificación cualquiera que fuera su clase o destino."

Desarrollo

Las acciones de esta normativa son:

- Acciones gravitatorias
 - Concarga
 - Peso propio
 - Carga permanente
 - Sobrecarga
 - De uso
 - De nieve
- Acciones de viento
- Acciones térmicas y reológicas
- Acciones sísmicas

Distingue las acciones gravitatorias en:

El peso propio se define como la carga debida al peso del elemento resistente y la carga permanente como carga debida a los pesos de los elementos constructivos, instalaciones fijas...

El valor de la carga permanente se calcula tomando las partes heterogéneas del elemento y multiplicándolas por su peso específico aparente. Los pesos aparentes más usuales están detallados en las tablas que proporciona el mismo documento.

El valor del peso propio se estima mediante fórmulas empíricas o experiencia en estructuras semejantes.

El valor de la sobrecarga de uso se toma de una tabla en la misma norma. En el caso que ocupa a este proyecto:

Uso del elemento	Sobrecarga Kg/m ²
A. Azoteas	
Accesible solo para conservación	100
Accesibles solo privadamente	150

Tabla 8. Valor de las sobrecargas de uso en la Norma MV 101-1963 [Elaboración propia a partir de la norma MV 101-1962]

La sobrecarga de nieve se calcula según su peso específico y se supone uniformemente repartida. Se puede estimar a través de las tablas del documento. En el caso de Zaragoza (210 m de altitud): 50kg/m².

4.6.2.2. Ley 38/1999

Esta ley tiene como principal objetivo regular el sector de la edificación. En este documento se autoriza al Gobierno a aprobar mediante Real Decreto un Código Técnico de la Edificación. Hasta entonces, se aplicarán las normas básicas de la edificación NBE. Las acciones en la edificación se encuentran reguladas por la NBE-AE-88.

Las acciones se definen de la misma manera que en la norma anterior.

En esta norma se clasifican las acciones gravitatorias como concarga (de nuevo desglosada en peso propio y carga permanente) y sobrecargas (dividida en de uso y de nieve).

El peso propio se estima usando tablas o empíricamente mediante conocimiento de otras estructuras similares.

La carga permanente se calcula como en la norma anterior: componiendo con las partes heterogéneas y tomando el peso específico más desfavorable. Presenta unas tablas para este fin.

En el caso de las sobrecargas de uso en azoteas los valores son iguales a la norma anterior (Ver tabla 8).

La sobrecarga de nieve se calcula de la misma manera y con las mismas tablas que en el apartado anterior. De nuevo, para Zaragoza, se estima una sobrecarga de nieve de 50 kg/m².

4.6.2.3. Real Decreto 314/2006

El 17 de marzo se acabó plasmando en este RD el Código Técnico de la Edificación. Aquí se regularán las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios (incluidas instalaciones) para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

Uno de los Documentos Básicos que componen este RD es el DB-SE (Seguridad estructural).

Las acciones se dividen como:

Desarrollo

- Permanentes
 - Peso propio
 - Pretensado
 - Acciones del terreno
- Acciones variables
 - Sobrecarga de uso
 - Acciones sobre barandillas y elementos divisorios
 - Viento
 - Acciones térmicas
 - Nieve
- Acciones accidentales
 - Sismo
 - Incendio
 - Impacto
 - Otros (derivados del uso del edificio, por ejemplo, en laboratorios químicos)

Peso propio: Peso de los elementos constructivos, que se halla como valor medio obtenido a partir de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios (reflejados en su Anejo C).

Se valoran las acciones de pretensado mediante la EHE y las del terreno mediante el DB-SE-C.

La sobrecarga de uso la define como “el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso.” En este documento se encuentra una tabla especificando los valores de esta manera para cubiertas:

Tabla 9. Categorías de uso y cargas en cubierta.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [KN/m2]	Carga concentrada [KN/m2]
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación	G1	Con inclinación inferior a 20º	1	2

4.6.3. Modelización estructural

Para tener en consideración los efectos estructurales se ha decidido introducir los edificios en el software CYPE ingenieros.

En concreto se va a usar el módulo de CYPE 3D. Este módulo calcula estructuras tridimensionales definidas con elementos tipo barras en el espacio y nudos en la intersección de las mismas. Se puede emplear cualquier material y secciones genéricas para las barras.

La introducción de datos se realiza de manera gráfica, así como la consulta de resultados.

El programa considera un comportamiento elástico y lineal de los materiales. Las cargas se pueden aplicar en cualquier dirección y admite varias tipologías. Se puede definir cualquier tipo de apoyo y los nudos son genéricos y admiten que la vinculación interior sea empotrada o articulada.

A partir de las hipótesis básicas se puede definir y calcular cualquier combinación de las acciones con diferentes coeficientes, ya sea de acuerdo con la norma seleccionada o definidos por el usuario.

Se definirán unos valores medios usuales para definir mediante el sistema anteriormente descrito lo que sería equivalente a una viga usual.

De esta manera se van a definir barras con los siguientes parámetros:

Parámetro	Valor
Longitud de los vanos	5.5 m
	7.5 m
Número de vanos	3
Tipología de viga escogida	HEA 200
Peso propio	42.3 kg/m
Sobrecarga de uso	150 Kg/m ²
Sobrecarga de nieve	50 kg/m ²
Sobrecarga por cubierta verde:	Ver Tabla 9

Tabla 10. Parámetros que definen el estudio estructural

Desarrollo

En la actualidad se tienden a hacer vanos más largos. Se van a definir dos longitudes de vanos; así simularemos con la viga corta la construcción más tradicional y con la viga más larga la más moderna.

Los pesos definidos para las cubiertas verdes son los siguientes:

Parámetros	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Peso mínimo [Kg/m ²]	74	122	170
Peso máximo [Kg/m ²]	122	195	390
Peso saturado mínimo [Kg/m ²]	95	195	350
Peso saturado máximo [Kg/m ²]	175	280	815

Tabla 11. Tabla de pesos en función del tipo de cubierta verde.

La normativa actual dice que las cubiertas verdes se deben calcular con el peso del sustrato saturado. En resumen, el peso de las cubiertas asignado según los espesores de sustrato queda de la siguiente manera:

Parámetros	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Horquilla de espesores [mm]	25-125	125-180	>180
Espesor escogido [mm]	75	150	400
Peso saturado [kg/m ²]	87,5	233	622

Tabla 12. Pesos escogidos para el modelo.

4.6.3.1. Luz de viga 5.5 m

Se ha implementado en CYPE las cargas de uso, de nieve y de peso propio según lo detallado en la tabla 12.

- Cubierta convencional**

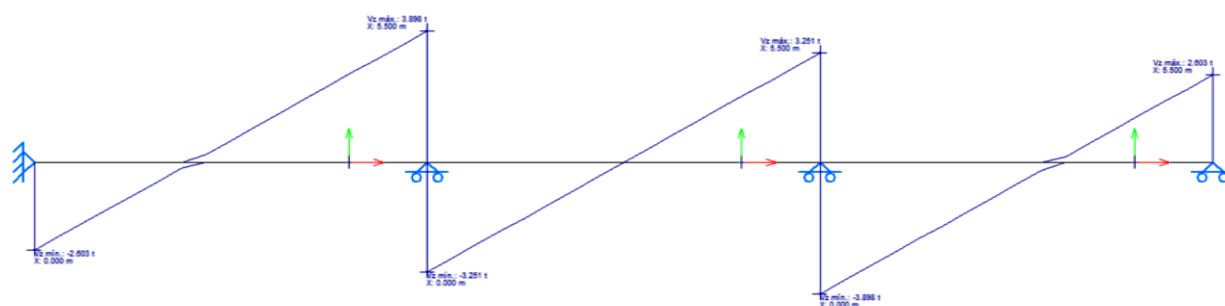


Figura 42. Diagrama de cortantes en la viga de 5.5m y cubierta convencional mediante el software CYPE3D

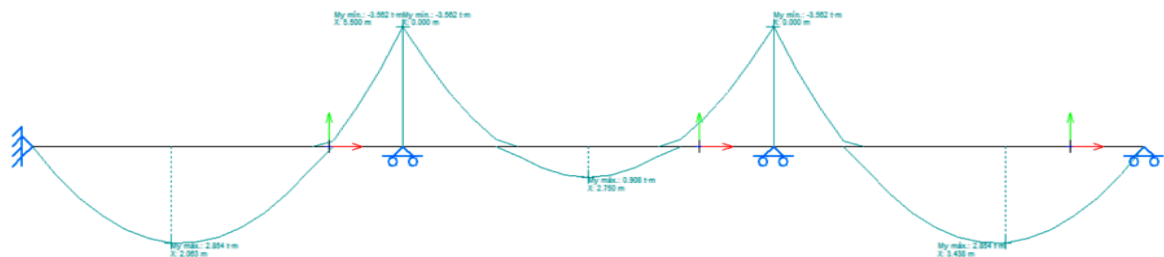


Figura 43. Diagrama de flectores en la viga de 5.5m y cubierta convencional mediante el software CYPE3D

El objetivo es conseguir una cobertura vegetal lo más extensa posible cualquiera que sea la tipología de cubierta que se está analizando.

- **Cubierta extensiva:**

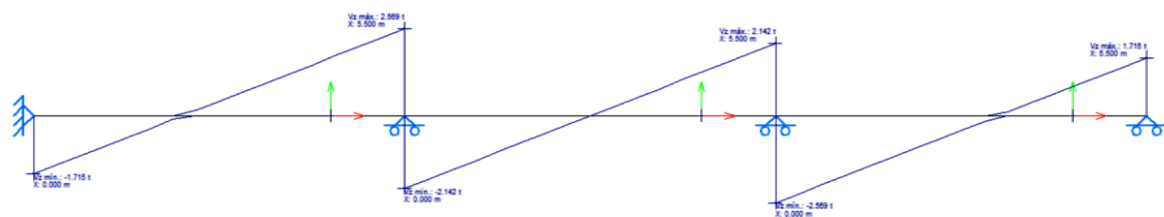


Figura 44. Diagrama de cortantes en la viga de 5.5m de luz y cubierta extensiva

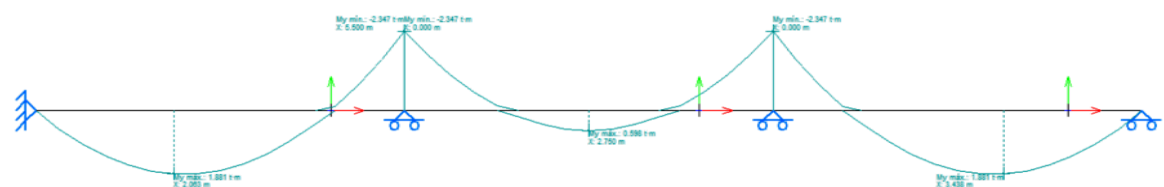


Figura 45. Diagrama de flectores en la viga de 5.5m de luz y cubierta extensiva.

En el caso de la cubierta extensiva, para una luz de 5.5m, tras la simulación el resultado es que se puede cubrir la totalidad del área y la estructura sería capaz de aguantar el peso sin reforzar la misma.

Desarrollo

- **Cubierta semi-intensiva:**

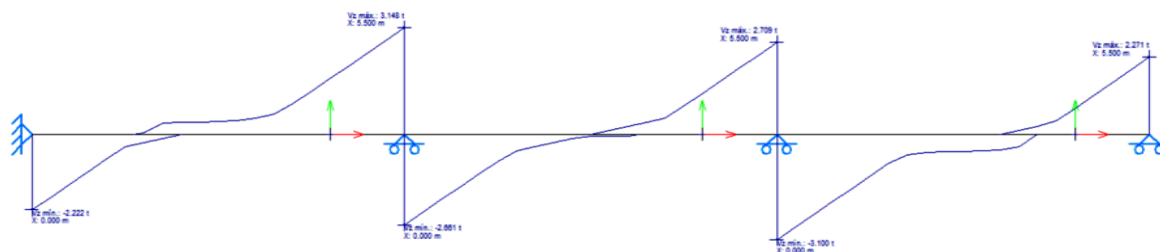


Figura 46. Diagrama de cortantes en una viga de 5.5m de luz con cubierta semi-intensiva de parterres de 3.75x3.75m

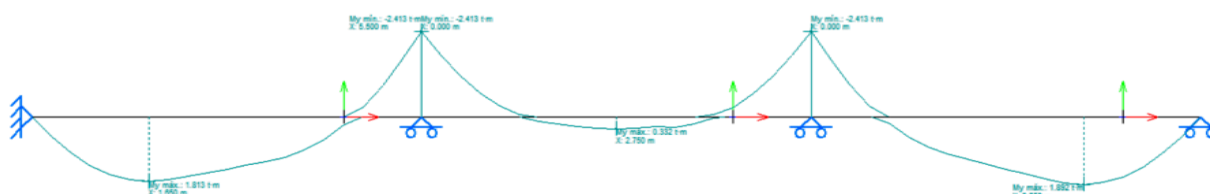


Figura 47. Diagrama de flectores en una viga de 5.5m de luz con cubierta semi-intensiva de parterres de 3.75x3.75

En este caso la cubierta es semi-intensiva, en este caso el peso de la misma no permite cubrir toda la extensión como en el caso anterior. En la simulación se ha acotado hasta 3.75m de anchura máxima.

- **Cubierta intensiva**

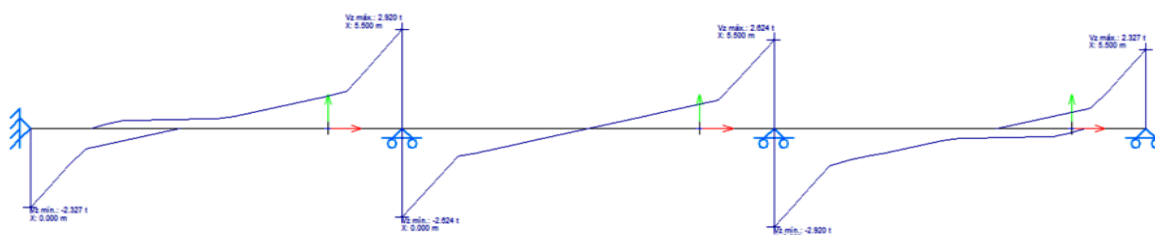


Figura 48. . Diagrama de cortantes en una viga de 5.5m de luz con cubierta intensiva de parterres de 2.3x2.3m

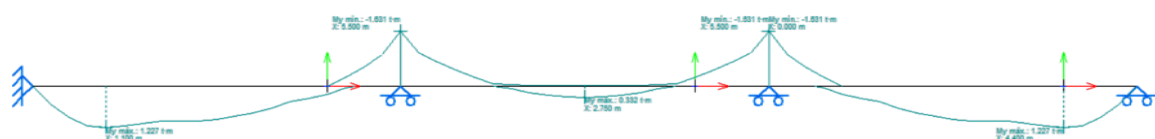


Figura 49. Diagrama de flectores en una viga de 5.5m de luz con cubierta intensiva de parterres de 2.3x2.3m

Como era esperable, la cubierta cuyo espesor de sustrato es mayor es la que puede ocupar áreas más pequeñas. En el análisis de la cubierta intensiva se ha hallado un área de ocupación máxima de 2.3x2.3.

• Resumen

En las tablas 13 y 14 se presenta el resumen de valores de los diagramas de esfuerzos de la viga en cada una de las tipologías de cubiertas.

Tipo	Puntos	0	5,5	11	16,5
Convencional	Vmax[T]	-	3,898	3,251	2,603
	Vmin[T]	-2,603	-3,251	-3,898	-
Extensiva 100% ocupación	Vmax[T]	-	2,569	2,142	1,715
	Vmin[T]	-1,715	-2,142	-2,569	-
Semi-intensiva (3,75x3,75m)	Vmax[T]	-	3,148	2,709	2,271
	Vmin[T]	-2,222	-2,661	-3,100	-
Intensiva (2,3x2,3m)	Vmax[T]	-	2,920	2,624	2,327
	Vmin[T]	-2,327	-2,624	-2,920	-

Tabla 13. Resumen valores de los diagramas de cortantes para viga L=5.5m

Tipo	Puntos	1 ^{er} vano	2 ^o apoyo	2 ^o vano	3 ^{er} apoyo	3 ^{er} vano
Convencional	Mf[T.m]	2,854	-3,562	0,908	-3,562	2,854
Extensiva 100% ocupación	Mf[T.m]	1,881	-2,347	0,598	-2,347	1,881
Semi-intensiva (3,75x3,75m)	Mf[T.m]	1,813	-2,413	0,332	-2,413	1,892
Intensiva (2,3x2,3m)	Mf[T.m]	1,227	-1,631	0,332	-1,631	1,227

Tabla 14. Resumen de los diagramas de momentos flectores para viga L=5.5m

En resumen, para una viga de 5.5 m de luz, sería posible implementar una cubierta verde sin actuar en la estructura:

Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva
100%	46%	17%

Tabla 15. Resultados de ocupación porcentual en una viga de 5.5m de luz

4.6.3.2. Luz de viga de 7.5m

Esta luz de viga está pensada para adecuarse más al estilo constructivo actual donde las luces son más grandes.

Desarrollo

- **Cubierta convencional:**

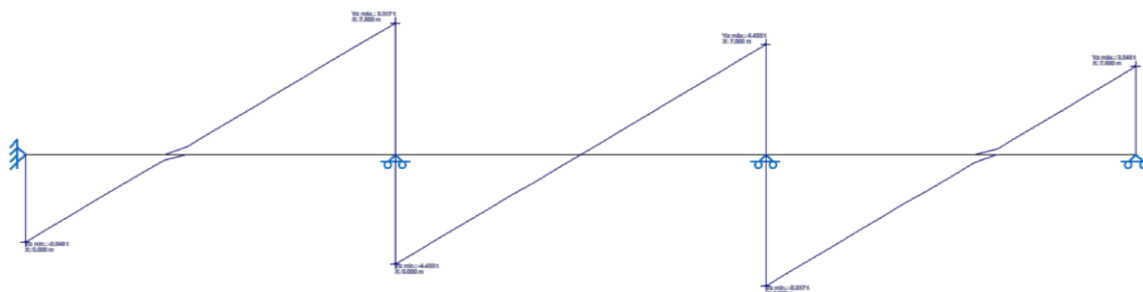


Figura 50. Diagrama de cortantes en la viga de 7.5m y cubierta convencional mediante el software CYPE3D

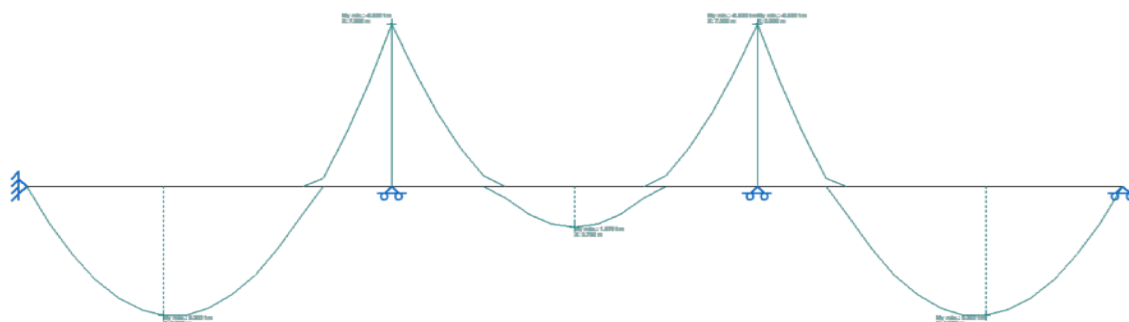


Figura 51. Diagrama de flectores en la viga de 7.5m y cubierta convencional mediante el software CYPE3D

Estos son los valores que se van a tomar como referencia para definir la capacidad de la cubierta en cuanto a cargas extras se refiere. Las imágenes ilustran los diagramas de flectores y cortantes y sus valores, junto con los de las otras cubiertas se definen en la tabla X.

- **Cubierta extensiva:**

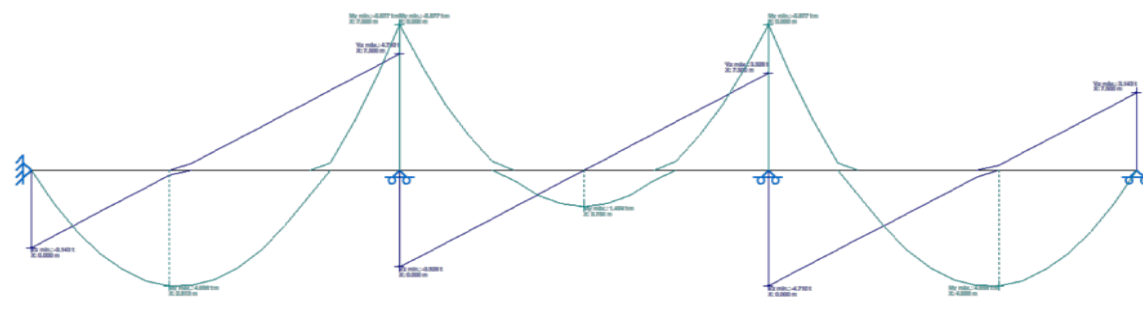


Figura 52. Diagrama de cortantes y flectores en la viga de 7.5m y cubierta extensiva al 100%

- **Cubierta semi-intensiva**

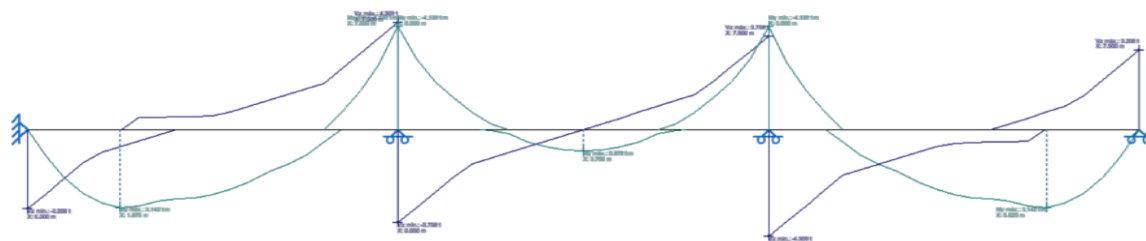


Figura 53. Diagrama de cortantes y flectores en la viga de 7.5m y cubierta semi-intensiva con parterres de 4.5x4.5m

- **Cubierta intensiva**

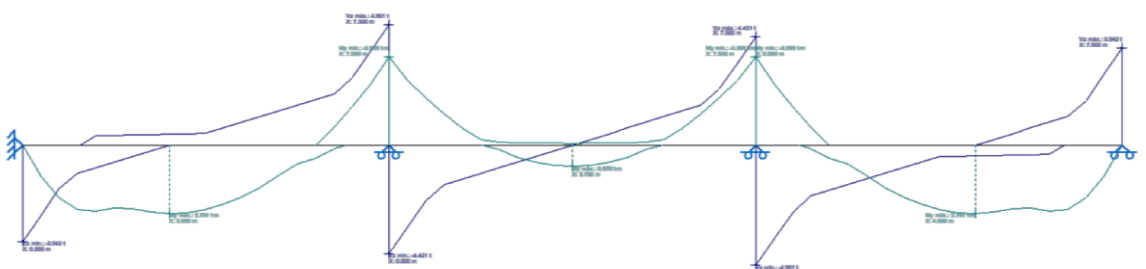


Figura 54. Diagrama de cortantes y flectores en la viga de 7.5m y cubierta intensiva con parterres de 3x3m

- **Resumen**

En las tablas 18 y 19 se presenta el resumen de valores de los diagramas de esfuerzos de la viga en cada una de las tipologías de cubiertas.

Tipo	Puntos	0	7,5	15	22,5
Convencional	Vmax[T]	-	5,317	4,433	3,548
	Vmin[T]	-3,548	-4,433	-5,317	-
Extensiva 100% ocupación	Vmax[T]	-	4,710	3,926	3,143
	Vmin[T]	-3,143	-3,926	-4,710	-
Semi-intensiva (4, 5x4,5m)	Vmax[T]	-	4,309	3,758	3,206
	Vmin[T]	-3,206	-3,758	-4,309	-
Intensiva (2,3x2,3m)	Vmax[T]	-	4,901	4,421	3,942
	Vmin[T]	-3,942	-4,421	-4,901	-

Tabla 16. Resumen de valores de diagrama de cortantes para viga $L_{vano}=7.5m$

Desarrollo

Tipo	Puntos	1 ^{er} vano	2 ^o apoyo	2 ^o vano	3 ^{er} apoyo	3 ^{er} vano
Convencional	Mf[T.m]	5,303	-6,635	1,676	-6,635	5,303
Extensiva 100% ocupación	Mf[T.m]	4,698	-5,877	1,484	-5,877	4,698
Semi-intensiva (4,5x4,5m)	Mf[T.m]	3,142	-4,139	0,878	-4,139	3,142
Intensiva (2,3x2,3m)	Mf[T.m]	2,791	-3,595	0,878	-3,595	2,791

Tabla 17. Resumen de valores de diagrama de momentos flectores para viga $L_{\text{vano}}=7.5\text{m}$

Como en el caso anterior, cuanto mayores son los espesores de sustrato que se van a colocar en la cubierta, menor es el área que pueden ocupar (siempre partiendo de la premisa de que no se actúa en la estructura inicial del edificio). La ocupación posible dadas estas premisas queda de la siguiente manera:

Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva
100%	36%	16%

Tabla 18. Resultados de ocupación porcentual de una viga de 7.5m de luz.

Se puede observar que los porcentajes de ocupación son parecidos. A medida que la carga se aleja de los pilares la estructura es menos capaz de soportar cargas sin refuerzo.

De este estudio estructural se pretendía buscar unos valores de ocupación medio para implementar en los edificios de muestra que se van a simular hidrológicamente. Estos porcentajes quedan de la siguiente manera:

Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva
100%	40%	15%

4.7. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.7.1. Modelización hidrológica

El instrumento escogido para modelar la situación descrita es el programa SWMM, que es simulador de lluvia-escorrentía dinámico, usado para eventos aislados o simulaciones para hallar la cantidad y calidad en áreas urbanas de eventos de lluvia escorrentía duraderas (continuas).

4.7.1.1. Sobre SWMM

Se desarrolló en 1971 y desde entonces se ha ido actualizando. Es usado en todo el mundo para planificación, análisis y diseño de sistemas relacionados con la escorrentía de tormentas, sistemas sanitarios, drenajes. en áreas urbanas, con aplicación para áreas rurales también.

Hay dos enfoques para simular SUDS en SWMM en una subcuenca:

- 1) Colocar uno o más SUDS en una subcuenca ya existente que van a reemplazar una cantidad de área libre de la subcuenca.

Este método permite mezclar diferentes tipos de SUDS en la misma subcuenca, cada uno tratando una porción diferente de escorrentía generada por la fracción de subcuenca sin ningún método de drenaje. Les permite, en resumen, trabajar en paralelo.

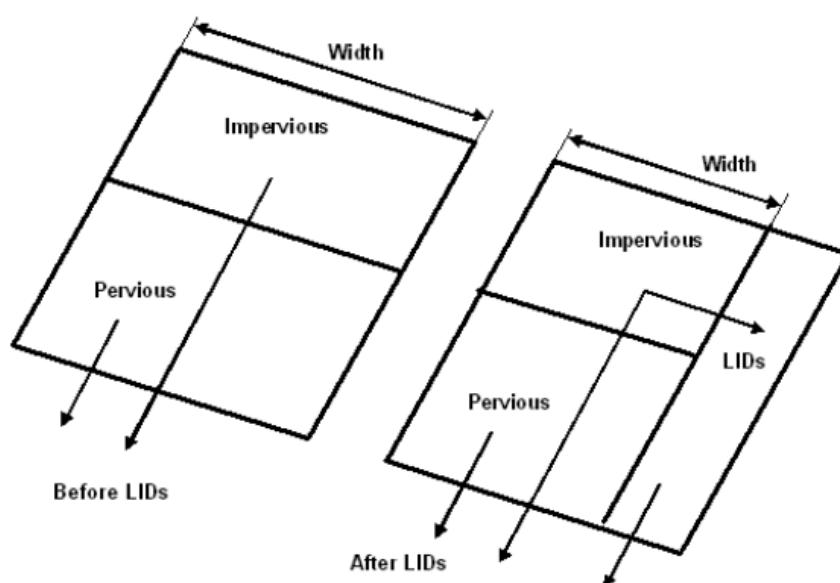


Figura 55. Ajuste de los parámetros de la subcuenca tras integrar en el modelo los SUDS.

Bajo este enfoque, la escorrentía disponible para capturar por las subcuencas SUDS es la generada por el área impermeable.

- 2) Crear una nueva subcuenca dedicada enteramente a un solo SUDS

Este segundo enfoque permite que los controles de SUDS participen en las series y también permite que la escorrentía producida por cuencas aguas arriba sea dirigida a las subcuencas donde se encuentran los SUDS.

Desarrollo

Si las cuencas SUDS se han insertado en cuencas ya existentes, de nuevo, hará falta un ajuste del porcentaje de impermeabilidad, anchura y propiedades de área. Además, cuando un SUDS ocupa una subcuenca completa los valores asignados a las propiedades superficiales estándar de la subcuenca (como la pendiente o la rugosidad) se sobrescriben con los valores pertenecientes a los de la unidad SUDS.

Los SUDS son representados en SWMM como una combinación de capas verticales cuyas propiedades están definidas por unidad de área

En el caso de los tejados verdes se usan tres capas: Superficie, sustrato y estera de drenaje.

4.7.2. Definición de la pluviometría

En este estudio se pretende continuar con las investigaciones ya hechas en este campo. Por eso se van a estudiar dos clases de lluvias: una lluvia de diseño y una lluvia continua en el año 2013. [Jimenez Camacho et al, 2015]

A continuación, se definirá brevemente la información pluviométrica analizada..

4.7.2.1. Serie continua anual

Esta serie ha sido definida en el pluviómetro de la estación del canal. Este se trata de un año representativo, ya que la pluviometría, a pesar de ser ligeramente superior a la media se puede seguir considerando adecuado para realizar un análisis extrapolable a otros periodos.

Código: 9443V
Altura sobre el nivel del mar: 258 metros.
Coordenadas UTM (huso 30): X. 676405.4 Y. 4611314.5

Tabla 19. Datos del pluviómetro

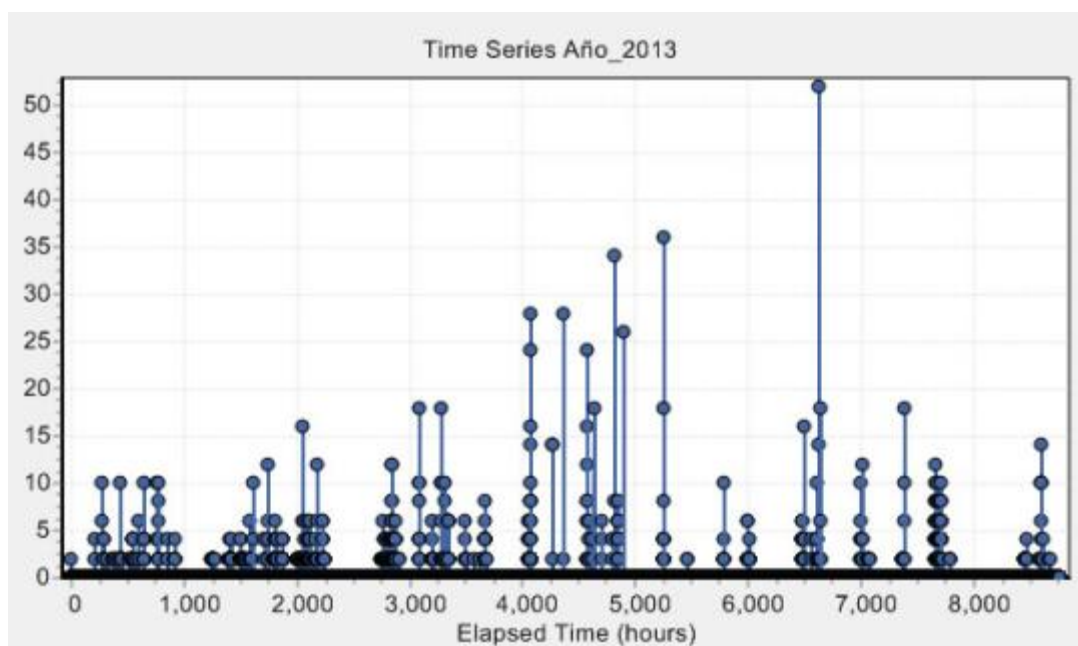


Figura 56. Serie continua de lluvia correspondiente a 2013, datos diezminutales
[Fuente: Jiménez Camacho et al, 2015]

4.7.2.2. Lluvia de diseño

En la referencia bibliográfica Jiménez Camacho [Jiménez Camacho et al, 2015] produce una lluvia mediante los datos del pluviómetro del aeropuerto de Zaragoza. De él toma la serie histórica completa (74 años). Los datos se recogen cada media hora desde enero de 1941 a diciembre de 2014. De esta serie de datos se selecciona el máximo anual de los máximos mensuales.

Esta serie de datos se reflejará para mayor comodidad en el Anexo correspondiente (A.2.).

4.7.3. Descripción de los parámetros del modelo

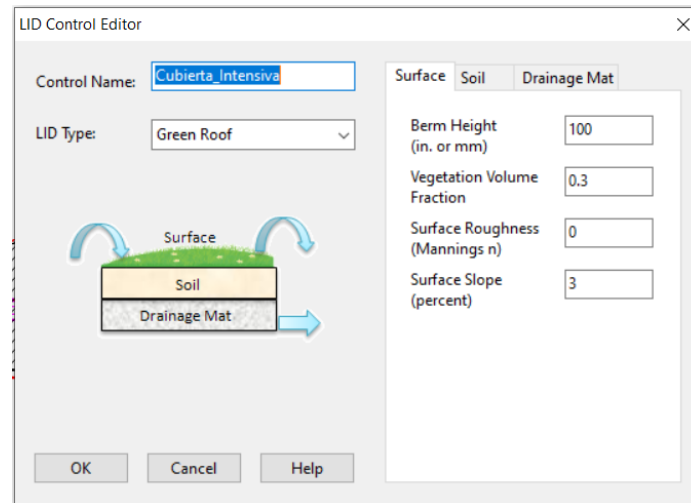


Figura 57. Editor de SUDS en SWMM.

4.7.3.1. Superficie

- **Altura del terraplén (Berm Height)**

Este parámetro hace referencia a los posibles muros o vallas que haya en la cubierta y que van a servir de confinamiento. Es la altura máxima a la que el agua puede estancarse tomando como referencia la superficie de la cubierta.

- **Fracción de volumen de vegetación (vegetation volumen fraction)**

Tomando el volumen de almacenamiento es la fracción de volumen ocupada por la vegetación.

El factor toma valores de 0 a 0.3 para vegetación muy densa.

- **Rugosidad de la superficie (Surface roughness)**

Es el coeficiente de Manning. En cubiertas verdes es nulo ya que el flujo no será horizontal (tipo escorrentía) sino vertical.

- **Pendiente de la superficie (Surface slope) Pendiente**

Este parámetro se refiere a la pendiente en superficie. Este valor oscila entre 3 y 10%.

4.7.3.2. *Propiedades de sustrato*

- **Thickness (Espesor [mm])**

Es el espesor de la capa de sustrato colocada. Los valores para cubiertas verdes varían según la bibliografía que se consulte. Lo más usual suelen ser valores entre 50 y 500 mm.

- **Porosity (Porosidad [fracción])**

Volumen de huecos respecto al volumen total

- **Field capacity (Capacidad del campo [Fracción])**

Volumen de agua que ocupa los poros una vez que el suelo ha sido drenado por completo. Es la cantidad de agua retenida cuando tras evacuar libremente. Por debajo de esta capa no hay drenaje vertical.

- **Wilting point (Punto de marchitación [Fracción])**

Límite de humedad mínima retenida por el sustrato. En la siguiente tabla se proporcionan valores para estos dos parámetros.

- **Conductivity (Conductividad hidráulica [mm/h])**

Movimiento del agua en el sustrato. Para suelos saturados se toma 0.5 mm/h.

- **Conductivity slope (Pendiente de conductividad [Sin dimensión])**

Pendiente de la curva de conductividad vs el contenido de humedad del sustrato. Los valores van entre 5 para arena y 15 para arcilla.

- **Suction head (Cabeza de succión [mm])**

Valor de capilaridad del sustrato en mm. Es el mismo valor en que el modelo de infiltración de Green-Ampt.

4.7.3.3. *Capa drenante*

Esta capa se localiza debajo del sustrato y encima de la estructura del tejado.

- **Thickness (Espesor [mm])**

El espesor de la capa varía entre 25 y 50 mm.

- **Void fraction (Fracción de vacío [ratio])**

La relación entre el volumen de vacío respecto al total. Suele tomar valores entre 0.5 y 0.6.

Desarrollo

- **Roughness (rugosidad)**

Es la constante de Manning, usado para calcular el flujo horizontal de agua drenada a través de la estera. Se suele estimar entre 0.1 y 0.4.

4.7.4. Valores escogidos

Parámetros	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Altura de la berma (mm)	50	80	100
Volumen de Vegetación	0,1	0,2	0,3
Rugosidad superficial (n)	0	0	0
Pendiente de la superficie (%)	3	3	3
Espesor de la capa de suelo (mm)	75	150	400
Porosidad	0,43	0,43	0,43
Capacidad de campo (cm ³ /cm ³)	0,34	0,34	0,34
Punto de marchitez (cm ³ /cm ³)	0,17	0,17	0,17
Conductividad hidráulica (mm/h)	13,21	13,21	13,21
Pendiente de la conductividad	5	5	5
Altura de succión (mm)	88,9	88,9	88,9
Espesor (mm)	25	40	60
Fracción de vacío	0,7	0,64	0,62
Rugosidad	0,35	0,31	0,63

Tabla 20. Valores de los parámetros del modelo. Elaboración propia.

Se ha usado un 3% de pendiente en cubierta por ser la condición más favorable de cara a la retención de agua de la misma.

Se ha escogido un sustrato franco, con una composición del 40% de arena, 20% de arcilla y 40% de limos; mezclado con compost pobre en humus, turbas rubias y negras. [Jiménez Camacho et al. 2015]

Los valores relativos al sustrato se han escogido en base a los siguientes criterios y autores:

Textura	η (%)	ρ_b (g/cm ³)	Capacidad de campo $\theta(333 \text{ cm})$ (cm ³ /cm ³)	Punto de marchitez $\theta(15.000 \text{ cm})$ (cm ³ /cm ³)
Ar	32–42	1,65	0,15	0,08
F-Ar	40–47	1,50	0,21	0,12
F	43–49	1,40	0,31	0,17
a-F	47–51	1,35	0,36	0,18
L-a	49–53	1,30	0,40	0,20
a	51–55	1,25	0,44	0,21

Tabla 21. Propiedades físicas del suelo según texturas. (Fuente: Schwab, 1996)

Textura (USDA)	K_s (m/s) · 10 ⁻⁶	S_{av} (m)	$\theta_s = \theta_s$ (m ³ /m ³)
Arcillosa	0,167	0,0639–1,565 (0,3163)	0,427–0,523 (0,475)
Arcillo-Arenosa	0,333	0,0408–1,402 (0,2390)	0,370–0,490 (0,430)
Franco-Arcillosa	0,556	0,0479–0,9110 (0,2088)	0,409–0,519 (0,464)
Arcillo-Limosa	0,278	0,0613–1,394 (0,2922)	0,425–0,533 (0,479)
Franco-Arcillo-Limosa	0,556	0,0567–1,315 (0,2730)	0,418–0,524 (0,471)
Franco-Arcillo-Arenosa	0,833	0,0442–1,080 (0,2185)	0,332–0,464 (0,398)
Franca	3,67	0,0133–0,5938 (0,0889)	0,375–0,551 (0,463)
Franco-Limosa	1,89	0,0292–0,9539 (0,1668)	0,420–0,582 (0,501)
Franco-Arenosa	6,06	0,0267–0,4547 (0,1101)	0,351–0,555 (0,453)
Arenosa-Franca	16,6	0,0135–0,2794 (0,0613)	0,363–0,506 (0,437)
Arenosa	65,4	0,0097–0,2536 (0,0495)	0,374–0,500 (0,437)

Tabla 22. Parámetros de Green Ampt para distintas texturas. (Fuente: adapt. de Rawls and Brakensick, 1983)

El “sustrato” usado normalmente para las cubiertas verdes es diferente al sustrato natural. Está formado por un agregado de diferentes materiales como arena, materia orgánica o zeolita, piedra pómez y pizarra; produciendo un producto ligero con una porosidad alta y una gran capacidad de retención de agua.

Desarrollo

En cuanto a los parámetros de la capa de drenaje se han escogido en base a tres láminas de la empresa Zinco S.L., cuyas fichas técnicas están disponibles en su página web. Se han seguido las recomendaciones que esta misma empresa ha colgado en sus guías de diseño de cubiertas verdes.

- **Cubierta extensiva.**

Para esta tipología de cubiertas es suficiente con una lámina de altura de 25mm ya que la capa del sustrato no va a tener un espesor muy grande.

Ficha técnica Floradrain® FD 25-E

Nº art. 3028



Elemento de drenaje y de retención de agua de poliolefina reciclada, resistente a la presión, para su instalación en cubiertas ajardinadas de tipo extensivo.



Datos técnicos

Floradrain® FD 25-E

Elemento de drenaje y retención de agua fabricado de poliolefina reciclada.

Material: Poliolefina (principalmente polietileno)
Color: gris oscuro
Altura: aprox. 25 mm
Peso: aprox. 1,6 kg/m²

Diámetro de las aperturas de difusión: aprox. 2 mm
Capacidad de retención de agua: aprox. 3 l/m²
Volumen de relleno: aprox. 10 l/m²

Resistencia a la compresión (vacío): aprox. 270 kN/m²

Capacidad de drenaje en superficie (EN ISO 12958):

con 1 % de pendiente: aprox. 0,59 l/(s·m)
con 2 % de pendiente: aprox. 0,85 l/(s·m)
con 3 % de pendiente: aprox. 1,05 l/(s·m)

Dimensiones: aprox. 1,00 m x 2,00 m

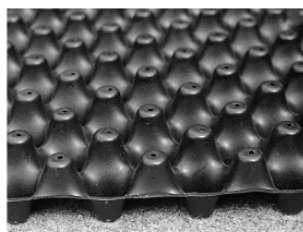
Figura 58. Floradrain FD 25-E. Capa de drenaje para cubiertas extensivas.
(Fuente: www.zinco.es, 2014)

- **Cubiertas semi-intensivas**

Dado un espesor medio de sustrato se usa una capa drenante de espesor también medio.

Ficha técnica Floradrain® FD 40-E

Nº art. 3041



Elemento de drenaje y de retención de agua, en poliolefina reciclada, para ser colocado en cubiertas ajardinadas tanto extensivas como semi-extensivas, con o sin pendiente.



Datos técnicos

Floradrain® FD 40-E

Elemento de drenaje y retención de agua de poliolefina reciclada embutido a profundidad.

Material:	Poliolefina (principalmente polietileno)
Color:	gris oscuro
Altura:	aprox. 40 mm
Peso:	aprox. 1,9 kg/m ²
Diámetro de las aperturas de difusión:	aprox. 2 mm
Capacidad de retención de agua:	aprox. 5 l/m ²
Volumen de relleno:	aprox. 17 l/m ²
Resistencia a la compresión (10 % de compactación):	vacío: aprox. 170 kN/m ² relleno de gravilla: aprox. 250 kN/m ²
Capacidad de drenaje en superficie (EN ISO 12958) (vacío):	
con 1 % de pendiente:	aprox. 1,5 l/(s·m)
con 2 % de pendiente:	aprox. 2,1 l/(s·m)
con 3 % de pendiente:	aprox. 2,6 l/(s·m)
Dimensiones:	aprox. 1,00 m x 2,00 m

Figura 59. Floradrain FD 40-E. Capa de drenaje para cubiertas extensivas. (Fuente: www.zinco.es, 2014)

• Cubiertas intensivas.

Cuando el espesor del sustrato es muy grande la capa drenante también debe aumentar de tamaño y por eso se usará una de 60mm.

Ficha técnica Floradrain® FD 60

Nº art. 3060



Elemento de drenaje y de retención de agua en ABS, testado durante años, para su instalación en cubiertas ajardinadas intensivas o transitables.



Datos técnicos

Floradrain FD® 60

Elemento de drenaje y de retención de aguas fabricado de ABS reciclado, moldeado mediante calor.

Material:	ABS (Acrilonitrilo)
Color:	negro
Altura:	aprox. 60 mm
Peso:	aprox. 2,30 kg/m ²
Capacidad de retención de agua relleno con Zincolit®Plus:	aprox. 10 l/m ²
Volumen de relleno:	aprox. 27 l/m ²
Resistencia a compresión (10% de compactación):	
vacío:	aprox. 19 kN/m ²
relleno:	aprox. 75 kN/m ²
Capacidad de drenaje en superficie (EN ISO 12958) (vacío):	
con 1 % de pendiente:	aprox. 1,4 l/(s·m)
con 2 % de pendiente:	aprox. 2,0 l/(s·m)
con 3 % de pendiente:	aprox. 2,5 l/(s·m)

Figura 60. Floradrain FD 60. Capa de drenaje para cubiertas extensivas. (Fuente: www.zinco.es, 2014)

Desarrollo

La rugosidad de la capa de drenaje se ha calculado en base a la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{A}{n} * \left(\frac{A}{Pm} \right)^{2/3} * (J)^{1/2}$$

El valor del caudal se toma de la capacidad de drenaje en superficie y el área de las dimensiones; ambos datos se toman de las fichas técnicas. De tal manera que los resultados son:

Cubierta extensiva: 0.35

Cubierta semi-intensiva: 0.31

Cubierta intensiva: 0.63

La fracción de huecos se obtiene dividiendo el volumen de vacío por el volumen total.

4.7.5. Parámetros del uso de la cubierta

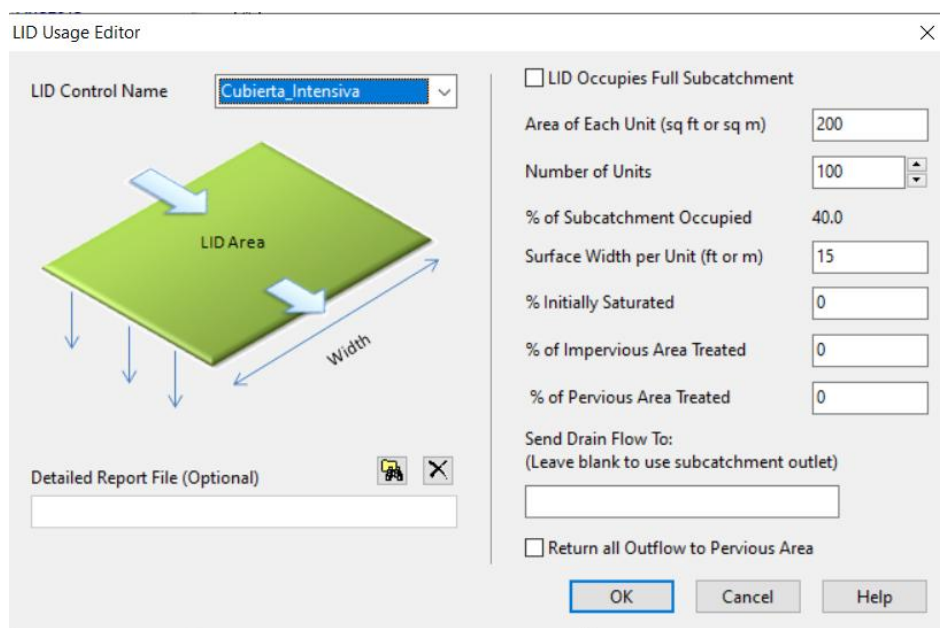


Figura 61. Editor de uso de la cubierta

- **Area of each unit. (área de cada unidad).**

Superficie dedicada a cada porción de cubierta verde en metros cuadrados. Va relacionada al parámetro de debajo; juntos definen el área ocupada por cubierta vegetal en porciones iguales.

- **Number of units (Número de unidades).**

Es la cantidad de porciones con el área seleccionada en el parámetro de arriba en los que se divide la cubierta verde. Estos campos quedan inhabilitados si se pincha la casilla de "LID Occupies full subcatchment"; ya que con ella se ocupa la cubierta completa. Debajo, se muestra el porcentaje ocupado por cubierta vegetal respecto del total de la cubierta.

- **Surface Width per unit. (Anchura de la superficie por unidad)**

Anchura del flujo de salida de cada unidad SUD en metros.

- **%Initially saturated. (%Saturado inicialmente)**

Es el grado de saturación con el que comienza la simulación el tejado verde. Depende del estado de vegetación que se quiera conservar en él. Se multiplica por 1/2 para un estado verde y por 1/3 en caso contrario.

$$AS_1[\%] = \frac{1}{3} * (CC - PM)$$

$$AS_2[\%] = \frac{1}{2} * (CC - PM)$$

- **% of Impervious Area Treated (% área impermeable tratada)**

Porcentaje de la superficie impermeable del área de la subcuenca (no tratada con SUDS) cuya escorrentía se deriva a la zona cubierta con vegetación. En caso de que la cubierta verde solo trate lluvia directa el valor es 0. También es un campo que debe ignorarse si la vegetación cubre todo el tejado.

- **Send Outflow to pervious area (Enviar el flujo de salida al área permeable)**

Esta opción se selecciona si el flujo de salida se devuelve a la zona permeable de la cuenca.

4.8. ESTADO DE LA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN DE TEJADOS VERDES EN EDIFICIOS MUNICIPALES.

Este trabajo se enmarca en el municipio de Zaragoza, por tanto, el primer paso a dar es cribar los edificios donde potencialmente se pueden instalar estas soluciones.

Este trabajo se va a centrar en edificios de titularidad municipal, ya construidos y con cubierta plana.

Además, para evitar coyunturas estructurales se ha ideado un modelo de tejado verde segmentado, donde las zonas ajardinadas se colocan en cabeza de pilar. Esto provoca que los pesos ocasionados por dicho ajardinamiento sean derivados directamente a los elementos estructurales verticales, así la carga se distribuye mejor y se evitan problemas de sobrecarga de forjado.

4.8.1. *Pasos a seguir*

1. En primer lugar, se realizó un estudio de todos los edificios municipales que hay en Zaragoza, de cualquier índole o funcionalidad.
2. Se hizo una criba comprobando uno por uno qué tipo de cubierta tenían
3. Se clasificaron todos los edificios según función y naturaleza
4. Cada uno de esos edificios cribados se buscaron en el catastro, de nuevo: uno por uno, para descubrir su año de construcción
5. De esta manera se consiguieron dos clasificaciones: la primera según función y la segunda según año de construcción.
6. Se establecieron divisiones según normativas en estos años de construcción. El resultado fueron tres grandes grupos: anterior a 1977, entre 1977 y 2006 y posterior a 2006.
7. De cada uno de estos tres grandes grupos se escogieron tres edificios según sus funciones. A saber: educación, salud y cultura.
8. Previa solicitud de permiso al ayuntamiento se consultaron los expedientes en Archivo municipal de expedientes archivados. Al ser un permiso educativo no se podía reproducir ningún plano (por motivos de seguridad ciudadana), no así el resto de documentos. Aun así, no había ningún problema en tomar

notas de los planos. Así que se tomó nota de la cantidad de pilares y sus dimensiones y distribución, de las áreas edificadas con cubierta plana o menor de 20°, de las sobrecargas actuantes en el forjado de cubierta, de los materiales que la componen, de su índole constructiva y de otros datos de interés según el expediente del que se tratara (por ejemplo, datos administrativos en caso de necesitar consultarlo de nuevo).

9. Dado el alcance de lo que es un Trabajo de fin de Grado (de aquí en adelante TFG) se van a hacer ciertas simplificaciones del modelo.

- a. Se establece un área media de cubierta vegetal según los datos anteriormente mencionados.

Esto no significa que la edificación sea regular en Zaragoza, sino que se toman los edificios de mayor superficie por los de menor.

- b. Esta área hallada se implementa en todos los edificios anteriormente clasificados. No es posible, en el tiempo que debe durar el TFG consultar todos los expedientes de todos los edificios públicos municipales de Zaragoza. Más aun cuando no se tiene permiso para reproducir ningún plano, como ya se ha comentado en puntos anteriores.

10. Implementar el modelo.

Cada edificio escogido se enmarca en distintas zonas de Zaragoza. Se han escogido en base a la disponibilidad de los planos para el estudio, su localización y su finalidad.

4.9. RESULTADOS DEL PROYECTO

4.9.1. *Lluvia continua de 2013*

Es evidente que cuanto mayor sea la ocupación de la cubierta verde respecto de la cubierta total, mayor capacidad de infiltración tendrá este sistema. Se tomará como valor ocupacional el 40% de la cubierta por ser un valor medio bajo con unas consecuencias perfectamente visibles en las gráficas y en los resultados numéricos del modelo. De esta manera se van a comparar los resultados de la simulación con un porcentaje de ocupación igual

Desarrollo

4.9.1.1. Edificio Juzgados

En la siguiente tabla resumen se muestra la comparativa de resultados.

Parámetros	SIN SUDS	Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva
Subcuenca				
Precipitación [mm]	603,33	603,33	603,33	603,33
Evaporación [mm]	117,14	201,58	232,66	253,87
Infiltración [mm]	0	99,79	99,79	99,79
Escorrentía [m3]	12210	7530	6750	5890
Coeficiente de escorrentía	0,809	0,499	0,448	0,391
Comportamiento de LID				
Precipitación [mm]		603,33	603,33	603,33
Almacenamiento inicial [mm]		12,75	25,50	68,00
Evaporación [mm]		394,23	471,87	524,85
Salida [mm]		200,04	122,4	36,33

Tabla 23. Comparación de parámetros en los distintos tipos de cubierta verde.

La evaporación aumenta, primero con la presencia de cubierta verde y segundo con el tipo de vegetación.

La infiltración va ligada al sustrato, por eso este valor no varía independientemente del tipo de cubierta. Es decir, la capacidad de campo y el tipo de sustrato es igual en los tres casos.

Se observa que el coeficiente de escorrentía es mayor cuanto menor es la presencia de cubierta vegetal.

El coeficiente de escorrentía es el ratio escorrentía/precipitación; si la precipitación es fija (como es observable en la tabla), el coeficiente aumenta cuanto mayor es la escorrentía de la cuenca. De esta manera la escorrentía disminuye de 12210 de la cubierta convencional a 7530 de la extensiva (un 38.33%), a 6750 de la semi-intensiva (44.72%) y a 5890 de la intensiva (51.76%).

El almacenamiento inicial de cada cubierta va asociada al volumen del sustrato y según el porcentaje de saturación.

4.9.1.2. Cubiertas de muestra y extrapolación al resto de Zaragoza

Para este apartado se ha imitado la metodología del anterior: se ha simulado la lluvia continua de 2013 para las cubiertas de muestra mencionadas en el porcentaje de ocupación definido en el análisis estructural. De manera que los resultados quedan:

	Precipitación total	Evaporación total	Infiltración total	Escurrentía total [m3]	Coefficiente de escurrentía
Subcuenca	mm	mm	mm	m3	Coeff
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	56,46	0	150	0,916
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	56,48	0	130	0,916
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	73,47	0	730	0,883
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	50,32	0	90	0,929
Cubierta2_CDMTorrero	603,33	50,32	0	90	0,929
Cubierta1_CCDelicias	603,33	44,62	0	40	0,942
Cubierta2_CCDelicias	603,33	50,32	0	50	0,929
Cubierta1_Ciencias	603,33	79,75	0	1050	0,871
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	64,81	0	640	0,899
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	55,42	0	250	0,918
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	77,28	0	770	0,876

Tabla 24. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado convencional sin SUDS

Se han simulado todos los edificios al mismo tiempo.

100% Extensiva	Precipitación total	Evaporación total	Infiltración total	Escurrentía total [m3]	Coefficiente de escurrentía
Subcuenca	mm	mm	mm	m3	Coeff
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	101,07	473,27	10	0,049
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	102,24	471,4	10	0,05
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	102,3	471,28	40	0,05
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	102,3	471,28	10	0,05
Cubierta2_CDMTorrero	603,33	102,3	471,28	10	0,05
Cubierta1_CCDelicias	603,33	102,29	471,31	0	0,05
Cubierta2_CCDelicias	603,33	102,24	471,38	0	0,05
Cubierta1_Ciencias	603,33	102,23	471,41	60	0,05
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	102,24	471,38	40	0,05
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	102,24	471,38	10	0,05
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	102,25	471,37	40	0,05

Tabla 25. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado extensivo al 100%, centrado en el conjunto.

	Precipitación	Evaporación	Almacenamiento inicial
Subcuenca	mm	mm	mm
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	394,09	12,75
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	394,09	12,75
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	394,09	12,75
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	394,09	12,75

Desarrollo

Cubierta2_CDMTorrero	603,33	394,09	12,75
Cubierta1_CCDelicias	603,33	394,09	12,75
Cubierta2_CCDelicias	603,33	394,09	12,75
Cubierta1_Ciencias	603,33	394,09	12,75
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	394,09	12,75
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	394,09	12,75
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	394,09	12,75

Tabla 26. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado extensivo al 100%, centrado en la cubierta verde.

100% Extensiva	Precipitación total	Escorrentía total [m3]	Escorrentía total T.C.	ΔV Escorrentía
Subcuenca	mm	m3	m3	m3
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	10	150	140
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	10	130	120
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	40	730	690
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	10	90	80
Cubierta2_CDMTorrero	603,33	10	90	80
Cubierta1_CCDelicias	603,33	0	40	40
Cubierta2_CCDelicias	603,33	0	50	50
Cubierta1_Ciencias	603,33	60	1050	990
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	40	640	600
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	10	250	240
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	40	770	730

Tabla 27. Disminución del volumen de escorrentía de la cubierta extensiva al 100% respecto a la cubierta convencional.

Para comenzar comparamos las tablas 29 y 30, es decir, la cubierta sin SUDS y la cubierta extensiva al 100%.

Lo primero observable es que la evaporación es mucho mayor en la cubierta vegetativa. La infiltración pasa de 0 a 470 mm; teniendo en cuenta que la precipitación es de 603.33, casi la totalidad de la lluvia es absorbida por la cubierta. Otra muestra de esto es el coeficiente de escorrentía, que muestra que la proporción de escorrentía precipitación es de en torno a 0.05. Al fijar la atención en la columna de la escorrentía se puede observar que en caso de la cubierta vegetal tiene un orden aproximadamente 10 veces menor.

En la tabla 29 se puede observar la disminución de escorrentía que supone la instalación de la cubierta vegetal, las atenuaciones están en torno al 90%.

40% Semi-intensiva	Precipitación total	Evaporación total	Infiltración total	Escorrentía total [m3]	Coefficiente de escorrentía
Subcuenca	mm	mm	mm	m3	Coeff
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	212,62	79,15	90	0,518
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	212,18	79,3	70	0,519
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	218,02	88,11	400	0,491
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	209,67	82,33	50	0,52
Cubierta2_CDMTorrero	603,33	209,67	82,33	50	0,52
Cubierta1_CCDelicias	603,33	207,85	77,44	20	0,533
Cubierta2_CCDelicias	603,33	209,62	82,34	30	0,52
Cubierta1_Ciencias	603,33	219,81	90,7	580	0,483
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	215,14	83,96	360	0,504
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	214,24	75,59	140	0,522
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	219,63	87,5	430	0,489

Tabla 28. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado semi-intensivo al 40%

	Precipitación	Evaporación	Almacenamiento inicial
Subcuenca	mm	mm	mm
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	471,82	25,5
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	471,82	25,5
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	471,82	25,5
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	471,82	25,5
Cubierta2_CDMTorrero	603,33	471,82	25,5
Cubierta1_CCDelicias	603,33	471,82	25,5
Cubierta2_CCDelicias	603,33	471,82	25,5
Cubierta1_Ciencias	603,33	471,82	25,5
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	471,82	25,5
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	471,82	25,5
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	471,82	25,5

Tabla 29. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado semi-intensivo al 40%, centrado en el tejado verde

40% Semiintensiva	Precipitación total	Escorrentía total T.V.	Escorrentía total T.C.	ΔV Escorrentía
Subcuenca	mm	m3	m3	m3
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	90	150	60
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	70	130	60
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	400	730	330
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	50	90	40
Cubierta2_CDMTorrero	603,33	50	90	40

Desarrollo

Cubierta1_CCDelicias	603,33	20	40	20
Cubierta2_CCDelicias	603,33	30	50	20
Cubierta1_Ciencias	603,33	580	1050	470
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	360	640	280
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	140	250	110
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	430	770	340

Tabla 30. Disminución del volumen de escorrentía de la cubierta semi-intensiva al 40% respecto a la cubierta convencional

En este caso la infiltración es uno de los parámetros que se reduce respecto a la cubierta extensiva al 100%; esto es normal ya que ahora la cubierta solo cuenta con un 40% de terreno permeable. La escorrentía se reduce a aproximadamente la mitad (p. ej. En el Caso de la cubierta del edificio de Ciencias de la Facultad de Zaragoza, que es el valor máximo, se reduce la escorrentía en un 55% aproximadamente) respecto a la cubierta convencional.

El almacenamiento inicial está ligado al volumen de sustrato y al porcentaje de saturación; por tanto cuanto mayor sea el espesor de sustrato, mayor capacidad de retener agua y mayor capacidad para almacenarla. La evaporación en la cubierta verde (Tabla 31) intensiva al 40% es mayor que en la cubierta extensiva al 100% porque la densidad vegetativa es mayor en el primer caso.

Prestando atención a la tabla 32 se puede observar que el volumen de escorrentía se atenúa en un 45% aproximadamente.

15% Intensiva	Precipitación total	Evaporación total	Infiltración total	Escorrentía total [m3]	Coefficiente de escorrentía
Subcuenca	mm	mm	mm	m3	Coeff
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	118,9	42,38	120	0,733
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	120,49	42,21	100	0,73
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	133,02	40,76	580	0,707
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	116,47	36,91	80	0,748
Cubierta2_CDMTorrero	603,33	116,47	36,91	80	0,748
Cubierta1_CCDelicias	603,33	112,52	35,27	30	0,76
Cubierta2_CCDelicias	603,33	116,38	36,92	40	0,748
Cubierta1_Ciencias	603,33	137,04	45,07	840	0,692
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	126,38	43,56	510	0,715
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	119,83	41,14	200	0,733
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	135,38	43,78	610	0,697

Tabla 31. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado intensivo al 15%

	Precipitación	Evaporación	Almacenamiento inicial
Subcuenca	mm	mm	mm
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	524,84	68.00
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	524,84	68.00
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	524,84	68.00
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	524,84	68.00
Cubierta2_CDMTorrero	603,33	524,84	68.00
Cubierta1_CCDelicias	603,33	524,84	68.00
Cubierta2_CCDelicias	603,33	524,84	68.00
Cubierta1_Ciencias	603,33	524,84	68.00
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	524,84	68.00
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	524,84	68.00
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	524,84	68.00

Tabla 32. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado intensivo al 15%, centrado en el tejado verde

15% Intensiva	Precipitación total	Escurrentía total [m3]	Escurrentía total T.C.	ΔV Escurrentía
Subcuenca	mm	m3	m3	m3
Cubierta1_IESPabloGargallo	603,33	120	150	30
Cubierta2_IESPabloGargallo	603,33	100	130	30
Cubierta3_IESPabloGargallo	603,33	580	730	150
Cubierta1_CDMTorrero	603,33	80	90	10
Cubierta2_CDMTorrero	603,33	80	90	10
Cubierta1_CCDelicias	603,33	30	40	10
Cubierta2_CCDelicias	603,33	40	50	10
Cubierta1_Ciencias	603,33	840	1050	210
Cubierta1_CSRamonyCajal	603,33	510	640	130
Cubierta_CSFernandoElCatólico	603,33	200	250	50
Cubierta_CSParqueGoya2	603,33	610	770	160

Tabla 33. Disminución del volumen de escurrentía de la cubierta intensiva al 15% respecto a la cubierta convencional

Se puede observar que esta cubierta es la que mayor valor de almacenamiento de agua proporcionada; esto es coherente con el hecho de que es la cubierta con mayor espesor de sustrato. También es la que tiene los menores valores de infiltración ya que el porcentaje que ocupa es solo de un 15%. También es la que tiene mayor coeficiente de escurrentía, es decir, en torno a un 70% de la precipitación de la cuenca va a discurrir por la misma y no va a ser tratada por SUDS.

La implementación de estas cubiertas debe atender no solo a las cuestiones estructurales sino también a la respuesta hidrológica que se desea obtener. En caso

Desarrollo

que se busque el almacenamiento del agua de lluvia durante todo el tiempo posible se debería tender hacia cubiertas intensivas. Esta respuesta más lenta da la oportunidad de aliviar el sistema de saneamiento en episodios de lluvia y que no se vea sobrepasado. Si lo que se busca es disminuir la escorrentía saliente de la cubierta y que la misma sirva como aislante térmico, se deberá tender hacia ocupar la mayor cantidad de superficie posible; esto será más fácil de conseguir con cubiertas extensivas (menor peso).

Atendiendo a la Tabla 35 se puede observar la disminución del volumen de escorrentía; siendo este de en torno al 20% respecto de la cubierta convencional.

4.9.2. Lluvia de diseño de periodo de retorno de 10 años.

En este apartado se va a analizar cómo la modificación en la ocupación y el tipo de cubierta verde modifican la escorrentía resultante.

Se analiza más allá de los resultados que se muestran en el apartado del modelo estructural por pretender estudiar, en caso de disponer del proyecto completo, y este así lo permitiera; hasta donde se puede disminuir la escorrentía en este edificio piloto sólo modificando la cubierta.

Por tanto, el análisis de este edificio en concreto será mucho más exhaustivo que el del resto de edificios seleccionados como muestra de edificios potencialmente implementables; donde solo se trabajará con el porcentaje de ocupación que resulta del análisis estructural que previamente se ha comentado.

Por todo esto, el edificio llamado Juzgados tiene un análisis de ocupación para estudiar la posible viabilidad en caso de que el proyecto real lo permitiese; el resto usarán los porcentajes hallados en el apartado 4.6.

Tras esto, se analizarán las respuestas hidrológicas de los edificios de muestra mediante las tablas resultantes del software escogido.

4.9.2.1. Edificio Juzgados

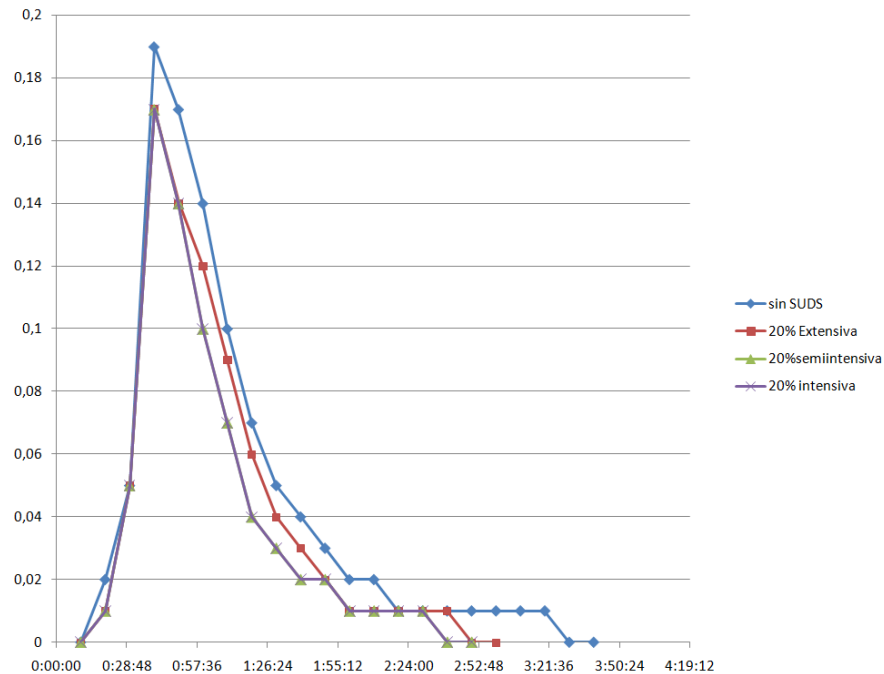


Figura 62. Comparación cubiertas verdes al 20% ocupación (T10)

Con un 20% de ocupación del total del área cubierta se observa que la tipología de cubierta intensiva y semi-intensiva no tienen ninguna diferencia en su comportamiento hidrológico.

Hay una disminución del caudal pico desde 0.19 m³/s a 0.17 m³/s (10.5%) en el caso de las tres cubiertas. Hay una disminución del volumen de escorrentía (área del hidrograma) desde la cubierta convencional a la cubierta extensiva y a la intensiva en ese orden.

Desarrollo

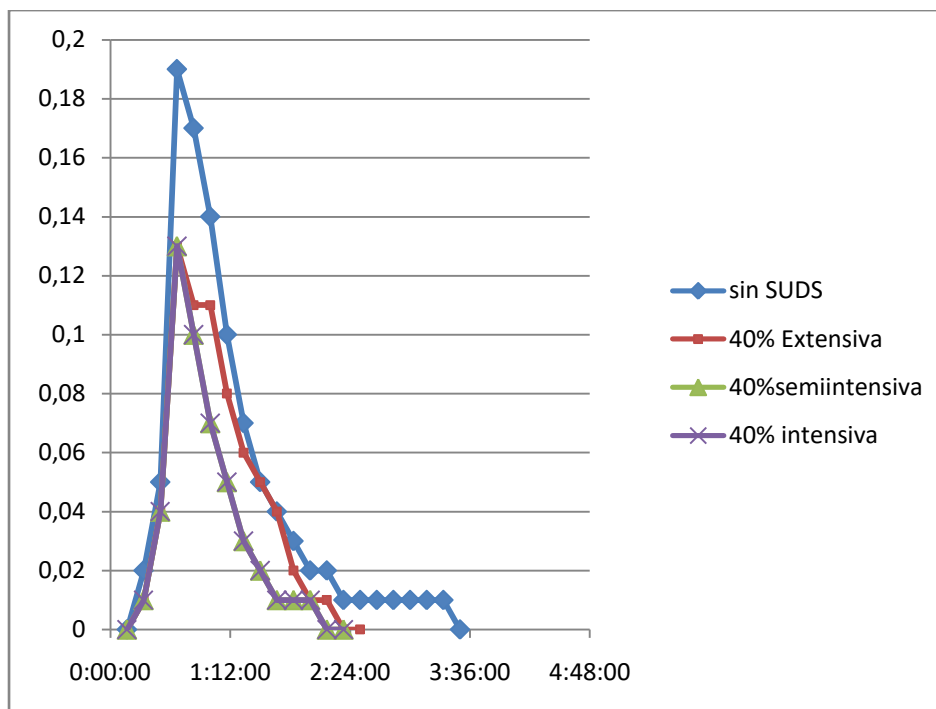


Figura 63. Comparación de cubiertas verdes al 40% de ocupación (T10)

En esta gráfica se ha representado la comparativa entre distintas cubiertas con un grado de ocupación media-baja.

Lo primero que se puede observar es que, a esta escala, la diferencia entre instalar una cubierta intensiva y una semi-intensiva es nula hidrológicamente

Se puede observar que el caudal pico disminuye de 0.19 a 0.13 m³/s (un 44.44%) en el caso de las intensivas y de la extensivas (67.42%). El volumen se sigue observando menor y el tiempo base también ha disminuido.

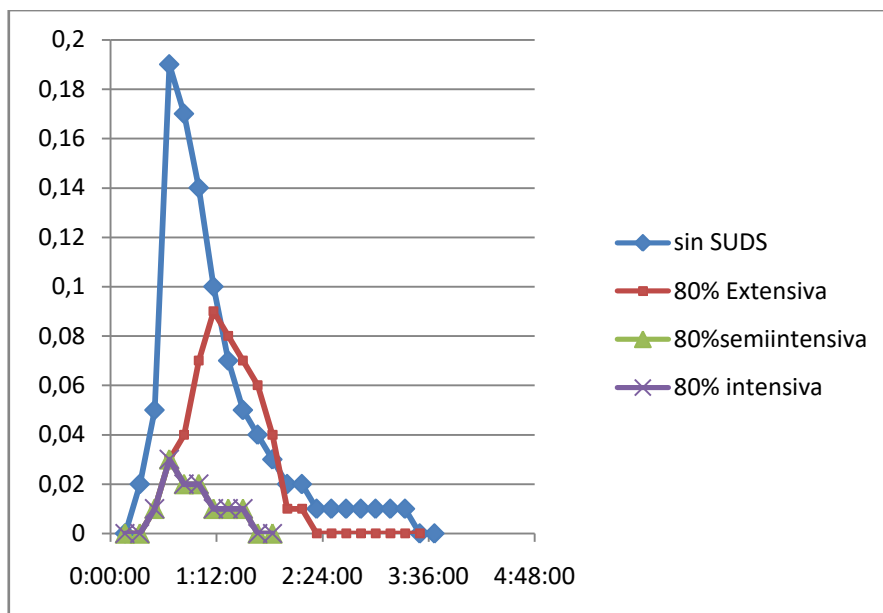


Figura 64. Comparación de cubiertas verdes al 80% de ocupación (T10)

Al 80% se observa el fenómeno teórico de que si se compara la cubierta extensiva con la cubierta desnuda el caudal pico además de ser menor, sucede mas tarde. Se produce una disminución del caudal pico desde 0.19 m³/s a 0.09 m³/s (52.63%) en la cubierta extensiva y de 0.19 m³/s a 0.03 m³/s (84.21%) en las intensivas.

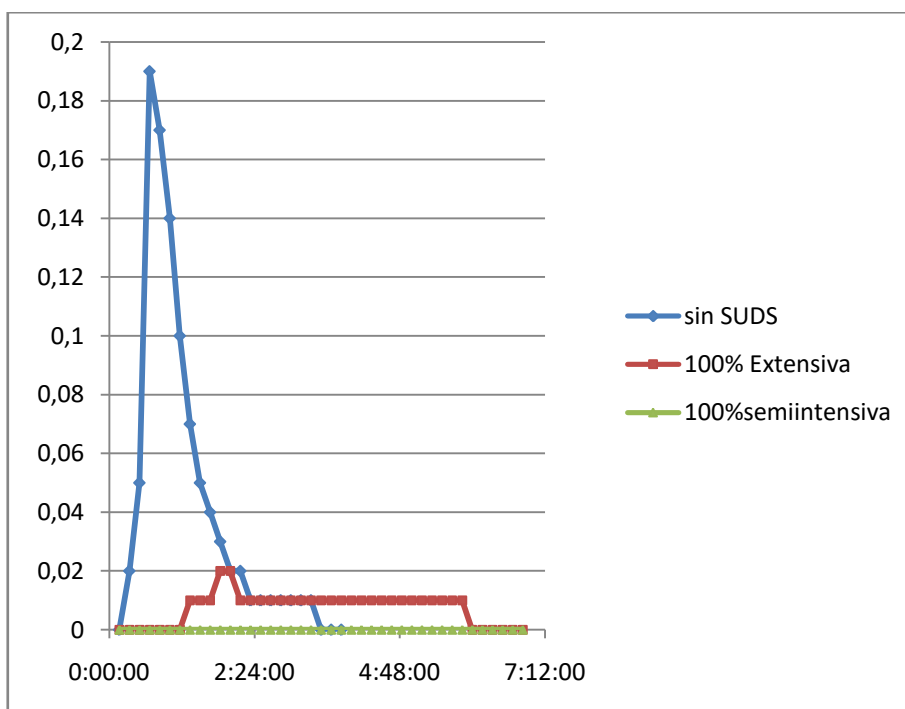


Figura 65. Comparación de cubiertas verdes al 100% de ocupación (T10)

Desarrollo

Se ha eliminado la línea que designa la cubierta intensiva por tener un comportamiento igual al de la cubierta semi-intensiva.

En este supuesto, la infiltración de agua es tan grande en la cubierta intensiva que no se produce flujo en ningún momento del episodio de lluvia.

Si se compara la cubierta extensiva con la cubierta sin ningún tipo de transformación se observa una disminución del caudal pico de 0.19 a 0.02 (89.47%) y un aumento del tiempo al pico de 1h10'. El tiempo base aumenta considerablemente.

4.9.2.2. Cubiertas de Zaragoza

Una vez implementado el modelo en las cubiertas de la muestra los resultados son los siguientes:

0% SUDS	Precipitación total	Evaporación total	Infiltración total	Escurrentía total [m3]	Coefficiente de escurrentía
Subcuenca	mm	mm	mm	m3	Coeff
Cubierta1_IESPabloGargallo	24,47	0,13	0.00	10.00	1.006
Cubierta2_IESPabloGargallo	24,47	0,13	0.00	10.00	1.006
Cubierta3_IESPabloGargallo	24,47	0,22	0.00	30.00	1.000
Cubierta1_CDMTorrero	24,47	0,11	0.00	0.00	1.006
Cubierta2_CDMTorrero	24,47	0,11	0.00	0.00	1.006
Cubierta1_CCDelicias	24,47	0,09	0.00	0.00	1.004
Cubierta2_CCDelicias	24,47	0,11	0.00	0.00	1.006
Cubierta1_Ciencias	24,47	0,26	0.00	50.00	0,997
Cubierta1_CSRamonyCajal	24,47	0,17	0.00	30.00	1.004
Cubierta_CSFernandoElCatólico	24,47	0,13	0.00	10.00	1.006
Cubierta_CSParqueGoya2	24,47	0,24	0.00	40.00	0,998

Tabla 34. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado convencional.

Esta es la tabla que muestra los resultados de una cubierta convencional en la lluvia de diseño. Se observa, una vez más que no existe infiltración. Al ser una cubierta impermeable, toda la precipitación que cae en ella se transforma en escurrentía.

100% Extensiva	Precipitación total	Evaporación total	Infiltración total	Escorrentía total [m3]	Coefficiente de escorrentía
Subcuenca	mm	mm	mm	m3	Coeff
Cubierta1_IESPabloGargallo	24,47	0,56	20,48	0,00	0,07
Cubierta2_IESPabloGargallo	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072
Cubierta3_IESPabloGargallo	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072
Cubierta1_CDMTorrero	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072
Cubierta2_CDMTorrero	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072
Cubierta1_CCDelicias	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072
Cubierta2_CCDelicias	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072
Cubierta1_Ciencias	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072
Cubierta1_CSRamonyCajal	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072
Cubierta_CSFernandoElCatólico	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072
Cubierta_CSParqueGoya2	24,47	0,56	20,4	0,00	0,072

Tabla 35. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado extensivo al 100%

100% Extensiva	Evaporación	Almacenamiento inicial
Subcuenca	mm	mm
Cubierta1_IESPabloGargallo	1,04	12,75
Cubierta2_IESPabloGargallo	1,04	12,75
Cubierta3_IESPabloGargallo	1,04	12,75
Cubierta1_CDMTorrero	1,04	12,75
Cubierta2_CDMTorrero	1,04	12,75
Cubierta1_CCDelicias	1,04	12,75
Cubierta2_CCDelicias	1,04	12,75
Cubierta1_Ciencias	1,04	12,75
Cubierta1_CSRamonyCajal	1,04	12,75
Cubierta_CSFernandoElCatólico	1,04	12,75
Cubierta_CSParqueGoya2	1,04	12,75

Tabla 36. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado extensivo al 100%, centrado en el tejado verde

100% Extensiva	Precipitación total	Escorrentía total TV	Caudal pico TV	Escorrentía total T.C.	Caudal pico T.C.	ΔV Escorrentía	ΔV Caudal pico
Subcuenca	mm	m3	m3/s	m3	m3/s	m3	m3/s
Cubierta1_IESPabloGargallo	24,47	0,00	0,00	10.00	0,01	10.00	0,01
Cubierta2_IESPabloGargallo	24,47	0,00	0,00	10.00	0,01	10.00	0,01
Cubierta3_IESPabloGargallo	24,47	0,00	0,00	30.00	0,02	30.00	0,02
Cubierta1_CDMTorrero	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Desarrollo

Cubierta2_CDMTorrero	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta1_CCDelicias	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta2_CCDelicias	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta1_Ciencias	24,47	0,00	0,00	50.00	0,03	50.00	0,03
Cubierta1_CSRamonyCajal	24,47	0,00	0,00	30.00	0,02	30.00	0,02
Cubierta_CSFernandoElCatólico	24,47	0,00	0,00	10.00	0,01	10.00	0,01
Cubierta_CSParqueGoya2	24,47	0,00	0,00	40.00	0,02	40.00	0,02

Tabla 37. Disminución del volumen de escorrentía y del caudal pico de la cubierta extensiva al 100% respecto a la cubierta convencional

Lo primero que llama la atención es que con esta lluvia de diseño sería asimilada completamente por la cubierta extensiva. El ratio precipitación-escorrentía es similar al de la lluvia continua.

En la tabla 39 se pueden observar las disminuciones de Caudal pico y de volumen de escorrentía. En este caso las absorciones son del 100%; ya que esta cubierta consigue asimilar todo el episodio de lluvia.

40% Semi-intensiva	Precipitación total	Evaporación total	Infiltración total	Escorrentía total [m3]	Coefficiente de escorrentía
Subcuenca	mm	mm	mm	m3	Coeff
Cubierta1_IESPabloGargallo	24,47	0,47	1,17	0,00	0,556
Cubierta2_IESPabloGargallo	24,47	0,47	1,17	0,00	0,557
Cubierta3_IESPabloGargallo	24,47	0,49	1,39	20.00	0,546
Cubierta1_CDMTorrero	24,47	0,46	1,10	0,00	0,558
Cubierta2_CDMTorrero	24,47	0,46	1,10	0,00	0,558
Cubierta1_CCDelicias	24,47	0,45	1,05	0,00	0,559
Cubierta2_CCDelicias	24,47	0,46	1,10	0,00	0,558
Cubierta1_Ciencias	24,47	0,50	1,49	30.00	0,549
Cubierta1_CSRamonyCajal	24,47	0,49	1,69	20.00	0,534
Cubierta_CSFernandoElCatólico	24,47	0,47	1,15	10.00	0,553
Cubierta_CSParqueGoya2	24,47	0,50	1,45	20.00	0,543

Tabla 38. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado semi-intensivo al 40%

40% Semi-intensiva	Evaporación	Almacenamiento inicial
Subcuenca	mm	mm
Cubierta1_IESPabloGargallo	1,04	25,50
Cubierta2_IESPabloGargallo	1,04	25,50
Cubierta3_IESPabloGargallo	1,04	25,50
Cubierta1_CDMTorrero	1,04	25,50
Cubierta2_CDMTorrero	1,04	25,50
Cubierta1_CCDelicias	1,04	25,50
Cubierta2_CCDelicias	1,04	25,50
Cubierta1_Ciencias	1,04	25,50
Cubierta1_CSRamonyCajal	1,04	25,50
Cubierta_CSFernandoElCatólico	1,04	25,50
Cubierta_CSParqueGoya2	1,04	25,50

Tabla 39. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado semi-intensivo al 40%, centrado en el tejado verde.

40% Semiintensiva	Precipitación total	Escorrentía total TV	Caudal pico TV	Escorrentía total T.C.	Caudal pico T.C.	ΔV Escorrentía	ΔV Caudal pico
Subcuenca	mm	m3	m3/s	m3	m3/s	m3	m3/s
Cubierta1_IESPabloGargallo	24,47	0,00	0,00	10,00	0,01	10,00	0,01
Cubierta2_IESPabloGargallo	24,47	0,00	0,00	10,00	0,01	10,00	0,01
Cubierta3_IESPabloGargallo	24,47	20,00	0,02	30,00	0,02	10,00	0,00
Cubierta1_CDMTorrero	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta2_CDMTorrero	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta1_CCDelicias	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta2_CCDelicias	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta1_Ciencias	24,47	30,00	0,02	50,00	0,03	20,00	0,01
Cubierta1_CSRamonyCajal	24,47	20,00	0,02	30,00	0,02	10,00	0,00
Cubierta_CSFernandoElCatólico	24,47	10,00	0,01	10,00	0,01	0,00	0,00
Cubierta_CSParqueGoya2	24,47	20,00	0,02	40,00	0,02	20,00	0,00

Tabla 40. Disminución del volumen de escorrentía y del caudal pico de la cubierta semi-intensiva al 40% respecto a la cubierta convencional

En este caso el coeficiente de escorrentía también se asimila mucho al ratio equivalente en la simulación continua. Para esta determinada lluvia de diseño, la cubierta semi-intensiva al 40% sería no suficiente para asimilar la lluvia por completo, sin embargo, sería capaz de mitigarlas en torno a un 30%.

El almacenamiento, de nuevo, es mayor que en el caso de la cubierta extensiva porque el espesor de sustrato es mayor en este caso.

La infiltración es menor porque el porcentaje permeable es más pequeño en este caso.

Desarrollo

En la tabla 42 se pueden observar la disminución de caudal pico y de escorrentía. La escorrentía registra disminuciones hasta 40% en las cubiertas más grandes.

15% Intensiva	Precipitación total	Evaporación total	Infiltración total	Escorrentía total [m3]	Coefficiente de escorrentía
Subcuenca	mm	mm	mm	m3	Coeff
Cubierta1_IESPabloGargallo	24,47	0,25	0,56	10.00	0,835
Cubierta2_IESPabloGargallo	24,47	0,25	0,56	0,00	0,832
Cubierta3_IESPabloGargallo	24,47	0,31	0,63	30.00	0,826
Cubierta1_CDMTorrero	24,47	0,23	0,54	0,00	0,832
Cubierta2_CDMTorrero	24,47	0,23	0,54	0,00	0,832
Cubierta1_CCDelicias	24,47	0,22	0,53	0,00	0,832
Cubierta2_CCDelicias	24,47	0,23	0,54	0,00	0,832
Cubierta1_Ciencias	24,47	0,33	0,66	40.00	0,823
Cubierta1_CSRamonyCajal	24,47	0,29	0,73	20.00	0,824
Cubierta_CSFernandoElCatólico	24,47	0,25	0,56	10.00	0,832
Cubierta_CSParqueGoya2	24,47	0,32	0,65	30.00	0,824

Tabla 41. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado intensivo al 15%.

15% Intensiva	Evaporación	Almacenamiento inicial
Subcuenca	mm	mm
Cubierta1_IESPabloGargallo	1,04	68,00
Cubierta2_IESPabloGargallo	1,04	68,00
Cubierta3_IESPabloGargallo	1,04	68,00
Cubierta1_CDMTorrero	1,04	68,00
Cubierta2_CDMTorrero	1,04	68,00
Cubierta1_CCDelicias	1,04	68,00
Cubierta2_CCDelicias	1,04	68,00
Cubierta1_Ciencias	1,04	68,00
Cubierta1_CSRamonyCajal	1,04	68,00
Cubierta_CSFernandoElCatólico	1,04	68,00
Cubierta_CSParqueGoya2	1,04	68,00

Tabla 42. Resultados del modelado hidrológico de la muestra de cubiertas para una lluvia continua y tejado intensivo al 15%, centrado en el tejado verde.

15% Intensiva	Precipitación total	Escurrentía total TV	Caudal pico TV	Escurrentía total T.C.	Caudal pico T.C	ΔV Escurrentía	ΔV Caudal pico
Subcuenca	mm	m3	m3/s	m3	m3/s	m3	m3/s
Cubierta1_IESPabloGargallo	24,47	10,00	0,01	10,00	0,01	0,00	0,00
Cubierta2_IESPabloGargallo	24,47	0,00	0,00	10,00	0,01	10,00	0,01
Cubierta3_IESPabloGargallo	24,47	30,00	0,02	30,00	0,02	0,00	0,00
Cubierta1_CDMTorrero	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta2_CDMTorrero	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta1_CCDelicias	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta2_CCDelicias	24,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cubierta1_Ciencias	24,47	40,00	0,03	50,00	0,03	10,00	0,00
Cubierta1_CSRamonyCajal	24,47	20,00	0,02	30,00	0,02	10,00	0,00
Cubierta_CSFernandoElCatólico	24,47	10,00	0,01	10,00	0,01	0,00	0,00
Cubierta_CSParqueGoya2	24,47	30,00	0,02	40,00	0,02	10,00	0,00

Tabla 43. Disminución del volumen de escurrentía y del caudal pico de la cubierta intensiva al 15% respecto a la cubierta convencional

En este tipo de cubierta la reducción de escurrentía total es de en torno a un 20%. El almacenamiento es el mayor de las tres tipologías de cubierta. La infiltración es obviamente menor que en los otros dos casos, esto está ligado al porcentaje de ocupación. En la tabla 45 se puede ver que esta tipología de cubierta es la que menor disminución de caudal pico y de escurrentía presenta.

4.10. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

A continuación, se hace referencia a una serie de aspectos a tener en cuenta de cara a la implementación de las cubiertas según CYPE Ingenieros.

4.10.1. Especificaciones sobre las acciones que afectan a la estructura.

El diseño de la estructura de una cubierta verde tiene que cumplir los criterios de diseños estructurales relevantes descritos en:

UNEUNE-EN 1990:2003 Eurocódigos.

UNEUNE-EN 1991 Eurocódigo 1: Acciones en estructuras

4.10.1.1. Viento

Efecto succión: los materiales de la cubierta verde no se fijan mecánicamente y algunos se utilizan como lastre (sustrato).

Desarrollo

- Hay que prevenir el efecto succión causado por el viento. Se debe incluir el peso suficiente para evitar esta succión y para calcularlo, debemos tener en cuenta los pesos en seco de los materiales que componen la solución de cubierta.

4.10.1.2. Cargas

Hay que conocer la limitación de carga de la estructura y se deben considerar como cargas adicionales el peso del sistema de cubierta saturado de agua, las cargas de nieve y de cualquier carga de otros servicios (accesos para cubiertas verdes transitables, cargas puntuales de depósitos de agua o de árboles grandes...).

4.10.1.3. Pendiente de la cubierta

- El CTE-DB-HA recomienda una pendiente mínima del 1% en soporte de hormigón y del 3% en soporte de chapa.
- Una pendiente mínima de 2-3° es suficiente para la correcta evacuación del agua. Es importante tener el drenaje bien controlado por necesidades de la vegetación y mantener el equilibrio aire/agua para las raíces.
- Con una pendiente de hasta 10° y con una longitud de empuje máxima de 15 m desde la cumbrera al alero, por lo general no son necesarias medidas constructivas contra deslizamientos.
- Con una pendiente por encima de 20°, normalmente se necesitarán medidas constructivas contra deslizamientos.
- Cubiertas verdes con pendientes superiores a 30-35° deben estudiarse con especial atención para resolver problemas estructurales de deslizamiento y erosión que podrían plantearse.

4.10.1.4. Requisitos de construcción de las cubiertas

Los elementos estructurales e impermeabilizantes que constituyen una cubierta verde deberán satisfacer los requisitos esenciales que deben cumplir las cubiertas y que se indican a continuación:

Estabilidad y resistencia mecánica: los componentes de la cubierta verde deben ser estables y resistentes a las acciones consideradas en el cálculo de la estructura de la edificación, y los materiales de recubrimiento deben resistir la acción del viento, de acuerdo con lo que se establece en la norma vigente CTE-DB-SE-AE Acciones en la edificación.

Seguridad en caso de incendio: la resistencia al fuego de la cubierta verde y de los encuentros de ésta con medianerías, con elementos de compartimentación, así como las distancias entre lucernarios y huecos verticales, deben ajustarse a lo establecido en la norma vigente CTE-DB-SI Seguridad en caso de incendio.

Salubridad: La cubierta verde debe proyectarse y construirse de forma tal que se evite la filtración de agua hasta las superficies interiores de la edificación. La cubierta debe proteger a la edificación de los agentes climáticos previsibles y facilitar la recogida y la evacuación del agua que recibe, en forma de lluvia, nieve, granizo, hielo o rocío y que asegure su estanqueidad, garantizando una vida útil, en condiciones normales de uso y de mantenimiento, de acuerdo con lo que se establece en la norma vigente CTEDBDB-HS-1 Protección frente a la humedad.

Seguridad de uso: La cubierta verde debe permitir, como mínimo, el acceso para los trabajos de mantenimiento y de reparación, y en ella deben disponerse los elementos de seguridad adecuados para la realización de estos trabajos.

Protección contra el ruido: El aislamiento al ruido aéreo de la cubierta verde en el espacio subyacente debe ajustarse a lo establecido en la norma vigente CTE-DB-HR

Ahorro de energía y protección térmica: El coeficiente de transmisión térmica de la cubierta verde debe ajustarse a lo establecido en la norma vigente CTE-DB-HE Ahorro de energía.

4.10.1.5. Elementos emergentes

- En los puntos de encuentro con elementos emergentes (murete, casetón ascensor, peto, medianería, etc...), se colocará la impermeabilización de tal manera que su entrega en el elemento vertical, se elevará, como mínimo, 20 cm por encima de la protección de la cubierta.
- El borde superior de la impermeabilización deberá estar protegido o entregado a la obra adecuadamente para que no entre el agua de escorrentía.
- Todos los elementos emergentes se recomiendan que vayan protegidos por una franja de gravas a su alrededor. Esto los protege de posibles agresiones mecánicas durante las labores de mantenimiento y del crecimiento de la vegetación.

Desarrollo

4.10.1.6. Elementos pasantes

- De acuerdo con el CTE se recomienda situar conductos de ventilación, tuberías de gas, etc., de tal forma que queden separados, como mínimo, 1m de los rincones o esquinas y 50 cm de los paramentos, para facilitar la entrega de la impermeabilización.
- Debe procurarse que los tubos y conductos que penetren desde la cubierta al interior del edificio se sitúen en paramentos por encima de la entrega vertical de la impermeabilización.

4.10.1.7. Dispositivos de desagüe

- El sistema de evacuación debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma UNE-EN1205612056-3:2001.
- Durante la planificación se deben diseñar las instalaciones adecuadas para drenar y desaguar el agua sobrante en todas las áreas, y se deben considerar sin vegetación.
- El agua de fachadas y superficies pavimentadas colindantes, drenará mediante canaletas y rejillas hacia la capa drenante, para que las funciones y estructura de la capa de sustrato y vegetación no se vean alteradas.
- Los sumideros se encuentran en el nivel más bajo de la cubierta y se recomienda que estén, como mínimo, a 1 m de rincones o esquinas, a 50 cm de los paramentos para facilitar la entrega de la impermeabilización, y a 30 cm de la vegetación.
- Los sumideros no deben cubrirse nunca con sustrato o grava.
- Deben tener siempre una caja de registro, para ser visibles y accesibles para realizar la inspección y el mantenimiento periódico y asegurar un buen funcionamiento.
- No debe desarrollarse vegetación en las zonas de protección de los sumideros, ya que impediría un correcto desagüe.
- Las cajas se asentarán siempre sobre la capa de drenaje, para facilitar la libre circulación del agua sobrante.
- En las cubiertas inclinadas el volumen de escorrentía de agua pluvial sobre los aleros es mayor, se dimensionará adecuadamente el sistema de drenaje y la construcción de los aleros.

4.10.1.8. Franjas de gravas de protección

- No son zona de tránsito.
- Tienen una anchura a lo largo de los perímetros o alrededor de elementos emergentes, de entre 30 a 50 cm aprox.
- Las franjas de gravas en contacto con las zonas de vegetación, están delimitadas por un perfil de separación.

4.10.1.9. Caminos de circulación

Para acceder a realizar mantenimiento, a instalaciones y elementos en la cubierta, se construirán caminos de circulación.

- Para circulación, las franjas tendrán una anchura aprox. de 80 cm.

4.10.1.10. Instalación de riego

- Se preverá siempre la instalación de un sistema de riego adecuado a la vegetación proyectada, en todas las cubiertas verdes intensivas, semi-intensivas y extensivas.
- Los sistemas de riego recomendables en una cubierta verde, son sistemas de riego automáticos localizados con goteros autocompensantes.

4.10.1.11. Estabilización de árboles y arbustos

- Se tendrá en cuenta la disposición de los elementos estructurales en el caso de implantar árboles y arbustos de gran porte. Es importante que la ubicación pueda coincidir con los ejes de los soportes de dicha estructura. Estas plantas se deberán considerar individualmente a la hora de comprobar la estabilidad de la cubierta.
- Se debe evitar que se produzcan vuelcos por ráfagas fuertes de viento. Se adoptarán las medidas de seguridad pertinentes.
- Los anclajes y apoyos de los tutores no perforarán, en ningún caso, la impermeabilización.

4.10.1.12. Protección contra el deslizamiento y la erosión

Las medidas constructivas de protección contra los deslizamientos y erosiones están compuestas por:

- Petos o barreras anti empuje dispuestos perpendicularmente a la pendiente y de forma intermitente.
- Placas drenantes con estructura para mayor retención del sustrato.

Desarrollo

- Mallas de yute para sujetar el sustrato a nivel superficial, mientras se desarrolla la vegetación para poder realizar ella misma esta función.

4.10.1.13. Requisitos de construcción de las áreas de vegetación

- Los contratistas deberán estar capacitados para realizar la instalación y deberán tener un conocimiento específico del sistema de cubierta verde, así como conocimientos generales en construcción y en jardinería.

4.10.1.14. Capa de protección de la impermeabilización:

- Debe protegerse la impermeabilización durante la instalación de posibles daños mecánicos mediante mantas de protección y de retención de agua no tejidas.
- El modelo o nivel de manta de protección y de retención de agua se define en función del uso, de la inclinación y del tipo de vegetación a implantar.
- Se colocan encima de la impermeabilización y debajo de la placa drenante.
- Se instalarán con un solape mínimo de 10 cm entre ellas y subirán por los petos perimetrales protegiendo toda la impermeabilización.

4.10.1.15. Capa drenante:

- Debe cumplir las funciones de drenaje, aireación, retención de agua y contribuir a la protección mecánica de la impermeabilización.
- La placa drenante se coloca entre la manta de protección y de retención y la capa de sustrato (habiendo casi siempre la capa filtro entremedio de estas dos), a modo de drenaje. Sirve también como espacio útil para las raíces.
- El efecto drenaje debe estar asegurado incluso en condiciones de lluvia continuada e intensa y debe recoger el agua excedentaria de toda la superficie y conducirla hacia los puntos de desagüe.

4.10.1.16. Capa filtrante:

- Capa formada por una lámina filtrante o filtro, se sitúa sobre la placa drenante, ya sea integrada en ésta o de forma independiente.
- Tiene la función de impedir el paso de las partículas de finos del sustrato y la consecuente obturación de la placa drenante.

- Se debe cubrir toda la superficie de placa drenante con solapes de 20 cm entre sí.
- No puede quedar expuesta al sol. Debe cubrirse de inmediato por el sustrato, tanto por la acción solar, como para evitar la succión del viento. Cuando no sea posible cubrirla de inmediato, el tiempo de exposición debe ser el mínimo y no podrá exceder el máximo marcado en las especificaciones técnicas de cada tipo de filtro.
- En cubiertas inclinadas no se coloca lámina filtrante ya que podría provocar el deslizamiento del sustrato.

4.10.1.17. Capa de sustrato:

- El sustrato desempeña las funciones de suministrar nutrientes, agua y oxígeno, y de soporte físico de la vegetación.
- Se instala en paralelo a las capas subyacentes. La profundidad mínima prescrita deberá ser aplicada en todas las partes de la cubierta.
- Las sacas de sustrato deben protegerse del agua, y deben colocarse en estado seco tal y como fueron entregadas.
- Después del vertido del sustrato, se llevará a cabo su extendido mediante un rastrillado, para conformar los grosores requeridos.
- En caso necesario, se deberá valorar el aporte de un riego aéreo para mantener la capa de sustrato húmeda después de ser vertido y así evitar su desecación y prevenir una posible erosión eólica.
- Debe protegerse de la erosión hasta que quede totalmente cubierto por la vegetación, si hay una exposición a fuertes vientos. Si hubiera un intervalo largo entre la instalación de la capa de sustrato y la implantación de la capa de vegetación, puede ser necesario contemplar otras medidas adicionales para prevenir la erosión (p.ej. mallas de yute).
- Ver cómo se va manipular y verter el sustrato en la cubierta mediante contenedores flexibles, conocidos como big bags, con grifo para descarga o cortados por su base, pero que nunca deben apoyarse completamente sobre el soporte estructural.

4.10.1.18. Operaciones de mantenimiento

- Se recomienda establecer un plan de mantenimiento una vez construida la cubierta verde que contemple tanto el mantenimiento de elementos constructivos como de la vegetación.
- La cubierta debe ser accesible para las inspecciones.

Desarrollo

- Las visitas periódicas de inspección y mantenimiento son imprescindibles para la conservación correcta de la cubierta verde y para una protección duradera de la impermeabilización. Sirven para controlar el buen estado de la cubierta, supervisar el desarrollo de la vegetación y la correcta evacuación del agua.
- La periodicidad e intensidad del mantenimiento, variará en función del tipo de vegetación y del sistema y los materiales que se hayan implantado en la cubierta. Deberán ir en concordancia con las condiciones particulares de cada cubierta: situación, orientación, incidencia de los vientos dominantes y sobre todo con el tipo de vegetación (extensiva, semi-intensiva o intensiva) y su uso.

Para ampliar esta información y profundizar en datos y pautas más concretas, se debe consultar la Normativa NTJ 11C o la Alemana FLL 2008 "Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofing – Green Roofing Guideline"

4.11. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado vamos a hacer un estudio de cuánto costaría implementar el tipo de soluciones a las que se ha llegado durante el transcurso de este trabajo.

Se usará un generador de precios que trabaja con los fabricantes que se han mencionado. En este caso se utilizará el generador de precios de CYPE actualizado a junio de 2019.

En el Anexo 3 se han proporcionado los precios unitarios tal y como salen del generador y los detalles constructivos proporcionados por el mismo software.

Estos precios están basados en la empresa Zinco, por ser el fabricante de las láminas drenantes que se han utilizado para el modelo hidrológico.

m ² Cubierta verde extensiva transitable, con riego integrado, sistema "ZINCO"	141,04 €
m ² Cubierta verde extensiva transitable, sistema Sedum Tapizante "ZINCO".	122,92 €
m ² Cubierta verde semi-intensiva transitable, sistema Plantas Aromáticas "ZINCO".	143,49 €
m ² Cubierta verde intensiva transitable, sistema Jardín "ZINCO".	215,32 €

Tabla 44. Precios unitarios de las distintas tipologías de cubiertas verdes
[Fuente: ZinCo, 2019]

Estos costes unitarios incluyen los costes de mantenimiento decenales.

Implementar la cubierta extensiva con el riego integrado tiene prácticamente el mismo coste que implementar una cubierta semi-intensiva. Los tejados intensivos tienen un coste por metro cuadrado de aproximadamente el doble de las otras soluciones.

De esta manera si se implementan estos precios a las cubiertas que se han tomado de muestra para este trabajo:

	Cubierta extensiva con riego integrado	Cubierta extensiva Sedum	Cubierta semi- intensiva al 40%	Cubierta intensiva al 15%
Edificio EXPO	3.526.000,00 €	3.073.000,00 €	1.434.900,00 €	807.450,00 €
Centro cívico delicias	23.271,60 €	20.281,80 €	9.470,34 €	5.329,17 €
Centro salud Ramón y Cajal	167.132,40 €	145.660,20 €	68.014,26 €	38.273,13 €
Centro Salud Fernando el Católico	62.762,80 €	54.699,40 €	25.541,22 €	14.372,61 €
Edificio Ciencias	282.644,16 €	246.331,68 €	115.021,58 €	64.725,19 €
IES Pablo Gargallo	264.576,94 €	230.585,63 €	107.669,16 €	60.587,82 €
CDM Torrero	47.107,36 €	41.055,28 €	19.170,26 €	10.787,53 €
CS Parque Goya	205.424,76 €	179.032,98 €	83.597,27 €	47.042,04 €
	4.578.920,02 €	3.990.646,97 €	1.863.384,10 €	1.048.567,49 €

Tabla 45. Coste de implementación de las distintas cubiertas verdes en los edificios de muestra

En total, costaría en torno a 4 millones de euros implementar la solución de cubiertas extensivas al 100%, casi 2 millones de euros implementar las cubiertas semi-intensivas al 40% y poco más de un millón de euros implementar las cubiertas intensivas al 15%.

Se va a asimilar que la muestra de edificios escogidos es representativa para hallar un área media de cubierta en edificio público en Zaragoza. De esta manera, y a través de la lista proporcionada en el Anexo I donde se han detallado todos los edificios de titularidad pública en la ciudad, se va a proporcionar un dato aproximado sobre el coste de implementación de esta tecnología en todos los edificios públicos.

Desarrollo

Se recuerda que en la tabla 7 están registrados los edificios que se han tomado de muestra y sus áreas en cubierta.

De esta manera se tiene un área media de 1066,5 m² de superficie de cubierta y un total de 300 edificios. Es decir:

	Cubierta extensiva con riego integrado	Cubierta extensiva Sedum	Cubierta semi-intensiva al 40%	Cubierta intensiva al 15%
Por edificio	150.417,15 €	131.092,42 €	61.212,01 €	34.445,36 €
Total	45.125.143,54 €	39.327.727,20 €	18.363.604,22 €	10.333.606,68 €

Tabla 46. Resultado de la implementación hipotética en los edificios de titularidad pública en la ciudad de Zaragoza a 2019.

Está claro que, a mayor cantidad de edificios a implementar, mayor será la inversión a realizar. Se deberá valorar la relación inversión-respuesta hidrológica para decidirse por la implementación de una tecnología u otra.

Sin embargo, esta tecnología presenta beneficios, además de medioambientales, económicos. En un episodio de lluvia en una cubierta convencional toda la escorrentía formada va a pasar al sistema; de ahí habrá una parte que vaya a la depuradora y otra parte que directamente se vierta al medio.

De esta manera, si se instala una cubierta vegetal hay un porcentaje de esas cantidades de escorrentía que suponen un ahorro económico al no tener que tratarse.

Coste unitario total del agua	Coste unitario del suministro de agua	Coste unitario del saneamiento y depuración
1,46	0,7	0,76

Tabla 47. coste unitario del agua de suministro y del tratamiento de aguas residuales en Aragón en el año 2013. En €/m³ [Fuente: Instituto Aragonés de Estadística (IAEST), 2016.]

De esta manera y atendiendo a los resultados del modelizado hidrológico las cubiertas, dependiendo de su tipología, absorben una cantidad de agua; siendo esta de la siguiente manera:

Tipo de cubierta	Extensiva [mm]	Semi-intensiva [mm]	Intensiva [mm]
Almacenamiento inicial	12.75	25.50	68

Tabla 48. Almacenamiento inicial en función de la tipología de cubierta verde.

Si esto lo comparamos con los datos de la lluvia y le restamos las cantidades de agua que estas cubiertas pueden absorber, el análisis queda de la siguiente manera.

Lluvia de diseño		Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva
0:05	11,25	-1,50	-14,25	-56,75
0:10	13,05	0,30	-12,45	-54,95
0:15	15,67	2,92	-9,83	-52,33
0:20	19,95	7,20	-5,55	-48,05
0:25	28,79	16,04	3,29	-39,21
0:30	88,11	75,36	62,61	20,11
0:35	39,09	26,34	13,59	-28,91
0:40	23,4	10,65	-2,10	-44,6
0:45	17,5	4,75	-8,00	-50,5
0:50	14,22	1,47	-11,28	-53,78
0:55	12,08	-0,67	-13,42	-55,92
1:00	10,54	-2,21	-14,96	-57,46

Tabla 49. Absorción de lluvia en función de la tipología de cubierta verde [mm].

La Tabla 51 muestra la resta entre los datos de la lluvia, a la izquierda, y la capacidad de almacenamiento de agua de cada cubierta indicada en la tabla 50. Los valores negativos simplemente indican los mm de agua que la cubierta aun podría almacenar de más, y los valores positivos muestran el agua que no son capaces de retener.

Lógicamente, cuanto mayor es la capa de sustrato, mayor es la capacidad para retener el agua del episodio. De esta manera en la cubierta intensiva es el pico del caudal la única cantidad de lluvia que el tejado no es capaz de absorber.

Desarrollo

Lluvia de diseño		Extensiva [€]	Semi-intensiva [€]	Intensiva [€]
0:05	11,25	9118,49	9118,49	9118,49
0:10	13,05	10334,29	10577,45	10577,45
0:15	15,67	10334,29	12701,04	12701,04
0:20	19,95	10334,29	16170,12	16170,12
0:25	28,79	10334,29	20668,58	23335,23
0:30	88,11	10334,29	20668,58	55116,20
0:35	39,09	10334,29	20668,58	31683,71
0:40	23,4	10334,29	18966,46	18966,46
0:45	17,5	10334,29	14184,32	14184,32
0:50	14,22	10334,29	11525,77	11525,77
0:55	12,08	9791,23	9791,23	9791,23
1:00	10,54	8543,01	8543,01	8543,01
Total:		120461,33	173583,62	221713,03

Tabla 50. Ahorro en euros de la implementación de las distintas tipologías de cubiertas verdes para una lluvia de diseño T10, un área media de cubierta de 1066.5m² y un precio unitario de depuración de 0.76€/m³

Además de estos beneficios económicos, existen muchos otros beneficios de carácter ambiental; como puede ser la reducción de la huella de carbono o la regulación de la temperatura en las áreas urbanas.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha tratado de proporcionar un acercamiento de lo que puede ser la implementación de cubiertas verdes en Zaragoza. De esta manera, se han proporcionado unas directrices generales en cuanto a los parámetros que definen las cubiertas verdes. Se ha analizado, por ejemplo, la vegetación que se podría implementar dado el clima de la zona y sus peculiaridades.

También, se han proporcionado unos porcentajes de ocupación en cubierta mediante un modelo estructural simplificado basado en los edificios estudiados. Para implementar esta tecnología en un edificio real se debe disponer del proyecto completo; así se tendría en cuenta cualquier peculiaridad posible. Siguiendo la normativa se han adaptado las áreas de ocupación de las diferentes cubiertas verdes para que no sobrepasen la sobrecarga de uso del edificio original, la cual, al implementar esta tecnología es sustituida por la carga de la nueva cubierta.

Se ha estimado que los edificios de la normativa anterior a 2006 tienen unas luces máximas en torno a 5.5m. Se ha determinado tras el análisis estructural son capaces de soportar el 100% de ocupación de cubiertas extensivas, y áreas de 3.75x3.75m y 2.3x2.3m situada en cabeza de pilar para cubiertas semi-intensivas e intensivas respectivamente.

Asimismo, los edificios posteriores, ya con la normativa vigente, poseen mayores luces estimados en 7.5m como máximo en su mayoría. Dando las mismas posibilidades de ocupación en cubiertas intensivas y extensivas, no así las semi-intensivas cuya posible área es un 44% mayor.

Desde un enfoque hidrológico se ha proporcionado un análisis de las respuestas hidrológicas de las diferentes tipologías de cubiertas. Se han optado por dos vías:

- Por un lado, la del edificio piloto de los Juzgados de Zaragoza, donde se han analizado unas hipotéticas ocupaciones de cubierta y su efecto en la mitigación de la lluvia.
- Por el otro, la implementación de la muestra de edificios en los porcentajes detallados en el análisis estructural y su respuesta hidrológica.

En efecto, dependiendo del espesor del sustrato y del porcentaje de ocupación de la cubierta verde respecto de la convencional se obtienen respuestas hídricas

Conclusiones

diferentes; pero siempre conllevando una disminución de la escorrentía y caudales pico.

Los resultados varían, para una lluvia de diseño de tiempo de retorno igual a diez años, desde reducir la escorrentía en un 90% en el caso de la cubierta extensiva debido a su ocupación (100%) hasta prácticamente no notarse el efecto en el caso de la intensiva (al 15%). En cuanto a caudales pico, de nuevo, la cubierta que mas los reduce de entre las que se está barajando es la extensiva llegando a reducirlo prácticamente a 0; y la que menos es la intensiva no teniendo en muchos casos un efecto visible.

En la lluvia continua se perciben transformaciones lluvia-escorrentía entre el 95% para el caso de la cubierta extensiva y el 30% para la cubierta intensiva.

Por último, se han hecho cálculos encaminados a estimar el posible coste de inversión que se necesitaría para implementar esta tecnología en todos los edificios de titularidad pública. Una vez vistos los resultados, por un lado se observa que la implementación de esta tecnología conlleva una inversión inicial relativamente elevada pero por otro lado los ahorros en coste de depuración puede resultar más rentable para el Ayuntamiento de Zaragoza.

Viendo los resultados de inversión y beneficio se concluye que con una sola lluvia similar a la T10 que se está implementando en este trabajo prácticamente se recupera la inversión en forma de ahorro de tratamiento de aguas, además de evitar otros gastos en pérdidas por efecto de una lluvia intensa.

Poco a poco la sociedad va siendo consciente de las posibilidades que tienen las técnicas de drenaje sostenible y la tendencia futura es que cada vez habrá una frecuencia de implementación mayor. Se está buscando reducir el grado de impermeabilidad de las cuencas urbanas y esto se puede conseguir mediante tecnología SUDS. Siempre teniendo en cuenta que en zonas con una frecuencia de precipitación baja, es posible los beneficios sean menos notables que en zonas más precipitaciones.

6. BIBLIOGRAFÍA

Abellán, A. (2013). Tipologías de las técnicas de drenaje urbano sostenible. Recuperado de IAqua website: <https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/tipologias-de-las-tecnicas-de-drenaje-urbano-sostenible>

AEMET. (2019). *Efectos del Cambio Climático en España*. Recuperado de http://www.aemet.es/es/noticias/2019/03/Efectos_del_cambio_climatico_en_espanha

Ayuntamiento de Madrid. (s. f.). *Base de datos de precios de la comunidad de Madrid*. Recuperado de <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Vivienda-y-urbanismo/Publicaciones/Cuadro-de-Precios-de-los-Proyectos-de-Urbanizacion-y-de-Edificacion/?vgnextfmt=default&vgnextoid=4527b1a987c0b110VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnextchannel=cf6031d3b28fe410VgnVCM1000000b205a0aRCRD>

Bárcena Pasamontes, A. (2017). *PROPUESTA DE DISEÑO DE UN PAQUETE DE TEJADO VERDE PARA UN EDIFICIO DE BARCELONA* (Trabajo final de Máster). UPC BarcelonaTech, Barcelona.

Cuadrat, J. M., Saz, M. Á., Serrano, R., & Tejedor, E. (2014, marzo). *EL CLIMA DEL TÉRMINO MUNICIPAL DE ZARAGOZA EN EL CONTEXTO DEL CAMBIO GLOBAL*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio.

Cuadrat Prats, J. M., Vicente-Serrano, S. M., & Saz Sánchez, M. A. (2005, julio). *LOS EFECTOS DE LA URBANIZACIÓN EN EL CLIMA DE ZARAGOZA (ESPAÑA): LA ISLA DE CALOR Y SUS FACTORES CONDICIONANTES*. Boletín de la A.G.E.

Gobierno de Aragón, I. A. de E. (s. f.). *INFORME DEL INSTITUTO ARAGONÉS DE ESTADÍSTICA*. Recuperado de https://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragon.esEstadistica/AreasTematicas/14_Medio_Ambiente_Y_Energia/ci.05_Clima_Datos_climatologicos.detalleDepartamento?channelSelected=ea9fa856c66de310VgnVCM2000002f551bacRCRD

Gonzalez Ciller, L. (2015). *EVOLUCIÓN DE LAS CUBIERTAS VERDES*. Recuperado de Urbanarbolismo website: <https://www.urbanarbolismo.es/blog/evolucion-historica-de-las-cubiertas-vegetales/>

Bibliografía

Ingenieros, C. (s. f.). *ESPECIFICACIONES SOBRE LAS ACCIONES QUE AFECTAN A LA ESTRUCTURA*. Recuperado de ftp://www.cype.net/documentaciontecnica/zinco/zinco_especif.pdf

IPCC. (2015). *Cambio climático 2014*. [Informe de síntesis]. Copenhague.

Jiménez Camacho, A. Y. (2015). Modelización de Low Impacts Developments a través de la nueva versión del software SWMM (v.5.1). EUPLA.

Lopez-Lopez, N., Calaza-Martinez, P., Perez-Alborés, R. M., & López-Fabal, A. (s. f.). COMPORTAMIENTO HÍDRICO DE SUSTRATOS EMPLEADOS EN CUBIERTAS AJARDINADAS. *Estudios en la Zona no saturada del suelo, XI*, 159-166.

Minke, G. (2015). TECHOS VERDES. PLANIFICACIÓN, EJECUCIÓN, CONSEJOS PRÁCTICOS. Fin de Siglo.

National Geographic. (2019, marzo 11). *España, cada vez más vulnerable al cambio climático*. Recuperado de https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/espana-cada-vez-mas-vulnerable-cambio-climatico_13572/8

Olcina Ramos, J. (2010). CAMBIO CLIMÁTICO Y RIESGOS CLIMÁTICOS EN ESPAÑA. Investigaciones geográficas- Instituto Universitario de Geografía- Universidad de Alicante, 49, 197-200.

Prieto Leache, I. (2009). SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE. *Proyecto de gestión de recarga de acuíferos del grupo TRAGSA*. Recuperado de [http://www.dina-mar.es/post/2009/07/23/Sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-\(SUDS\).aspx](http://www.dina-mar.es/post/2009/07/23/Sistemas-urbanos-de-drenaje-sostenible-(SUDS).aspx)

Rodriguez Rojas, M. I., Cuevas -Arrabal, M. M., Moreno Escobar, B., & Martínez Montes, G. (2017). EL CAMBIO EN DE PARADIGMA DE LA GESTIÓN DEL DRENAJE URBANO DESDE LA PERSPECTIVA DEL PLANEAMIENTO. UNA PROPUESTA METODOLÓGICA. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles - Universidad de Granada*, (75), 55-74. <https://doi.org/10.21138/bage.2492>

Sañudo Fontaneda, L. Á., Rodríguez Hernández, J., & Castro Fresno, D. (2012). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS)*. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Soriano Martínez, L. (2015). Indicadores de sostenibilidad de la gestión integral de las aguas de lluvia en los entornos urbanos: Aplicación a la ciudad de Zaragoza. UPM, Madrid.



ZinCo, Z. (2018, febrero). *Guía de planificación. Sistemas ZinCo para cubiertas verdes*. Recuperado de https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas_cubiertas/extensivas/index.php



Relación de documentos

(X) Memoria	99	páginas
(_) Anexos	27	páginas

La Almunia, a 18 de 09 de 2019

Firmado: Alba María Álvarez Cano